



**Ana Leonor Ortin Rodrigues Damas**

Licenciada em Ciências da Engenharia Civil

## **Caracterização de argamassas de assentamento de azulejo antigas**

### **Contributo para a conservação deste tipo de revestimentos**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientadora: Doutora Maria do Rosário Veiga, Investigadora Principal  
com Habilitação, Chefe do Núcleo de Revestimentos e Isolamentos,  
LNEC.

Co-orientadora: Professora Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues,  
Professora Associada, Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade Nova de Lisboa.

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Rodrigo M. Gonçalves  
Arguentes: Prof. Doutora Ana Luísa Velosa  
Doutor Luís Correia Baltazar  
Vogal: Doutora M. Rosário Veiga



“Copyright” Ana Leonor Ortin Rodrigues Damas, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.





## AGRADECIMENTOS

Finda esta importante etapa, não podia deixar de expressar a minha gratidão a todos os que me acompanharam e apoiaram não só ao longo desta dissertação, mas também ao longo de todo o meu percurso de faculdade.

Em primeiro lugar queria agradecer à minha orientadora, Doutora Rosário Veiga, pelo apoio e simpatia revelados desde a nossa primeira reunião no Departamento de Edifícios do LNEC, pelo acompanhamento e supervisão dos procedimentos realizados e pela disponibilidade e partilha de conhecimentos na revisão do meu trabalho.

Quero agradecer à Professora Doutora Paulina Faria, co-orientadora deste trabalho, pela sugestão do tema, pela permanente disponibilidade e apoio prestado ao longo desta dissertação e, sobretudo, por ter sido, através das suas aulas, uma das grandes impulsionadoras do meu interesse pelo mundo da construção e da reabilitação de edifícios.

Ao Doutor António Santos Silva, pelo apoio e dedicação incansável, por me ter acolhido da melhor forma no Departamento de Materiais do LNEC, pela simpatia, rigor e por todos os valiosos conhecimentos que me transmitiu ao longo das nossas reuniões.

À bolsista técnica de investigação do Departamento de Edifícios do LNEC Dora Santos, pela entrega, dedicação e amizade demonstradas durante a realização dos ensaios físicos e mecânicos na URPa.

Ao Sandro Botas, pelas trocas de conhecimentos e pelas referências bibliográficas que gentilmente me disponibilizou e que incluí na dissertação.

À bolsista de experimentação Dora Soares, à assistente operacional Fátima Meneses e às técnicas superiores Ana Paula Menezes e Lúzia Barracha que me auxiliaram na realização dos ensaios químicos e mineralógicos no Departamento de Materiais do LNEC.

Ao Museu Nacional do Azulejo por me facultar as amostras de argamassa de assentamento de azulejo antigas e à Doutora Lurdes Esteves, responsável pelo Departamento de Conservação e Restauro do Museu, pela simpatia, apoio e por todos os conhecimentos que me transmitiu durante a realização do meu trabalho.

Aos meus amigos, em especial às minhas colegas de curso Cláudia Martinho, Joana Costa e Inês Oliveira com quem cresci e partilhei os melhores e piores momentos do curso e com quem desenvolvi uma amizade, com toda a certeza, para a vida.

Ao meu namorado Luís, pelo apoio incondicional, amizade e acima de tudo paciência ao longo deste percurso.

Finalmente, à minha família, em especial à minha mãe Madalena Ortin e ao meu pai José Damas, por acreditarem em mim desde o primeiro instante, transmitindo-me sempre uma grande confiança e segurança, por estarem permanentemente ao meu lado em todas as situações, ajudando-me a superar os obstáculos que foram surgindo e sobretudo, por me mostrarem desde sempre que com empenho, trabalho, perseverança e dedicação todos os objetivos são alcançáveis.



## RESUMO

Dada a situação em que o sector da construção civil se encontra, atravessando algumas dificuldades no que diz respeito a novas obras, surge cada vez mais um outro foco de interesse: o mercado da reabilitação de edifícios. De facto, com o aparecimento de novos estudos de caracterização de argamassas antigas e com a integração de novos materiais eco-eficientes na formulação de argamassas de revestimento para reabilitação de edifícios antigos, surge um novo fôlego na construção e novos e importantes desafios se colocam neste campo.

Um dos mais típicos revestimentos portugueses é o revestimento azulejar. Para além de acompanhar a história portuguesa há seis séculos, é considerado património histórico e uma marca da cultura portuguesa. Este tipo de revestimento não se destaca apenas pelo seu importante valor estético: quando bem aplicado, a sua longevidade constitui uma das mais importantes e atrativas características o que aumenta a preferência e a procura por este tipo de revestimento. A argamassa de assentamento utilizada nessa aplicação desempenha um papel fundamental para o correto funcionamento do revestimento no seu todo e, por isso, para a sua correta conservação é indispensável numa primeira fase o seu estudo e caracterização bem detalhada e aprofundada.

No âmbito do projeto DB-HERITAGE - Base de dados de materiais de construção com interesse histórico e patrimonial –foi realizada uma exaustiva recolha de informação, na literatura, relativa às características de argamassas de assentamento de azulejos dos séculos XVI a XX, abrangendo as regiões de Aveiro, Évora, Santarém e Porto. Para complementar essa informação, foi realizada a caracterização física, mecânica, química e mineralógica de um conjunto de 40 argamassas antigas de assentamento de azulejos, dos séculos XVI a XIX, provenientes de Lisboa e Coimbra, disponibilizadas pelo Museu Nacional do Azulejo.

Da correlação dos dados obtidos na literatura com os resultados obtidos da campanha experimental realizada verificou-se que existe uma grande diversidade na formulação das argamassas de assentamento de azulejos entre os séculos XVI e XX, não sendo possível a sua tipificação por épocas. Porém, verificou-se que a formulação deste tipo de argamassas varia de região para região, muito possivelmente pela utilização de materiais locais na sua composição. Este facto foi comprovado pela análise dos resultados obtidos onde se concluiu que todas as argamassas analisadas são típicas de cal aérea, em Lisboa calcítica e em Coimbra dolomítica. Também o tipo de edifício tem influência na formulação destas argamassas, constatando-se que as de edifícios religiosos apresentam um traço mais forte em ligante do que as de edifícios do tipo residencial/palacete. Através da análise efetuada verificou-se também uma grande semelhança entre a composição e características das argamassas de assentamento de azulejos exteriores (de fachada) e argamassas de assentamento de azulejos interiores, o que leva a crer que não era feita especial distinção na formulação deste tipo de argamassas para exterior e interior, hipótese a averiguar em estudos futuros. Considera-se que esta informação é útil para a prescrição de futuras intervenções de conservação neste tipo de revestimentos azulejares.

**Palavras-chave:** argamassa de assentamento de azulejo, argamassa antiga, caracterização, reabilitação de edifício, conservação, património, cal aérea, azulejo



# **Characterisation of old tiles' setting mortars**

## **Contribution to the conservation of this type of coatings**

### **ABSTRACT**

Given the situation that the construction sector is going through at the moment, experiencing some difficulties regarding new constructions, there is an increasing focus of interest: the building's refurbishment market. In fact, with the advent of new characterisation studies of ancient mortars and the integration of new eco-efficient materials in the formulation of coating mortars for old building's refurbishment, a new breath arises in the construction sector, bringing new and important challenges to overcome.

One of the most typical Portuguese coatings is the glazed tile coating. They are not only in Portuguese history for six centuries, but they are also considered historical heritage and a mark of Portuguese culture. This type of coating is distinguished by its important aesthetic value but, more important than that: when well applied, its longevity is one of the most important and attractive characteristics, which increases the preference and the demand for this type of coating. The setting mortar used in this application plays a fundamental role for the correct functioning of the entire coating system. Therefore, for its correct conservation is indispensable, in a first phase, its study and deep and well detailed characterisation.

Within the scope of DB-HERITAGE project – Database of building materials with architectural heritage and historic importance – a deep gathering of data, from the literature, concerning the characteristics of glazed tiles' setting mortars from 16<sup>th</sup> to 20<sup>th</sup> century, covering the regions of Aveiro, Évora, Santarém and Porto, was made. To complement that data, a physical, mechanical, chemical and mineralogical characterisation of a set of 40 ancient setting mortars of glazed tiles from the 16<sup>th</sup> to 19<sup>th</sup> century, from Lisbon and Coimbra and provided by the National Tile Museum, was carried out.

From the correlation of the data obtained in the literature with the results obtained from the experimental campaign, it was verified that there is a great diversity in the formulation of tiles' setting mortars between the 16<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> centuries, and it is not possible to typify them by periods. However, it has been found that the formulation of this type of mortars varies from region to region, quite possibly because of the use of local materials in their composition. This fact is evidenced by the analysis of the results obtained where it was concluded that all mortars analysed are typical of air lime, calcitic in Lisbon and dolomitic in Coimbra. It was also verified that the type of building has influence in the formulation of these mortars, since the ones of religious buildings present a lime: aggregate ratio stronger in binder than those of residential/mansion type. Through the analysis made, there was also a great similarity between the composition and characteristics of the external (façade) tiles' setting mortars and internal tiles' setting mortars, which suggests that no special distinction was made in the formulation of this type of mortars for exterior and interior, a hypothesis to be investigated in further studies. This information is useful for the prescription of future conservation interventions in this type of glazed tiles coating.

**Keywords:** glazed tiles' setting mortar, ancient mortar, characterisation, building's refurbishment, conservation, heritage, air lime, glazed tile



**Caracterização de argamassas de assentamento de azulejo antigas**  
**Contributo para a conservação deste tipo de revestimentos**

**ÍNDICE GERAL**

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	iii
ÍNDICE DE TEXTO .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE TABELAS .....	xi
SIMBOLOGIA .....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. ARGAMASSAS DE CAL ANTIGAS .....	3
3. AZULEJOS .....	25
4. AMOSTRAGEM E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO .....	43
5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	61
6. CONCLUSÕES .....	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	87
ANEXOS – Fichas de estudo das argamassas .....	A1





## ÍNDICE DE TEXTO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Motivação e enquadramento .....	1
1.2. Objetivos e metodologia .....	1
1.3. Estrutura e organização da dissertação .....	2
2. ARGAMASSAS DE CAL ANTIGAS .....	3
2.1. As argamassas de cal através dos tempos .....	3
2.2. Compatibilidade entre argamassas de revestimento antigas e de substituição.....	5
2.3. Caracterização de argamassas antigas de Portugal .....	7
3. AZULEJOS .....	25
3.1. Breve cronologia do azulejo em Portugal .....	25
3.2. Técnicas antigas de aplicação do azulejo.....	27
3.3. Estudos de caracterização de argamassas de assentamento de azulejo.....	29
3.4. Questões de compatibilidade e durabilidade das argamassas de assentamento de azulejo.....	38
4. AMOSTRAGEM E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO .....	43
4.1. Considerações gerais.....	43
4.2. Inventariação e categorização das amostras.....	43
4.3. Procedimentos experimentais .....	47
4.3.1. Ensaio físico e mecânico e preparação geral das amostras.....	47
4.3.1.1. Absorção de água por capilaridade e secagem .....	48
4.3.1.2. Resistência à compressão .....	49
4.3.1.3. Porosidade aberta e massa volúmica aparente e real .....	50
4.3.1.4. Módulo de elasticidade dinâmico por ultrassons .....	51
4.3.2. Ensaio químico e mineralógico .....	52
4.3.2.1. Preparação das amostras .....	52
4.3.2.2. Análise por difração de raios X (DRX) .....	53
4.3.2.3. Análise termogravimétrica (ATG).....	55
4.3.2.4. Análise química – determinação da fração insolúvel por ataque ácido .....	56
4.3.2.5. Microscopia eletrónica de varrimento .....	58
5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	61
5.1. Considerações gerais.....	61
5.2. Resultados da caracterização físico-mecânica .....	61
5.2.1. Absorção de água por capilaridade e secagem .....	61
5.2.2. Resistência à compressão .....	65
5.2.3. Porosidade aberta .....	65
5.2.4. Módulo de elasticidade por ultrassons .....	66
5.3. Resultados da caracterização química e mineralógica .....	67
5.3.1. Difração por Raios X (DRX) .....	67
5.3.2. Análise termogravimétrica (ATG) .....	69
5.3.2.1. ATG Lisboa .....	69

5.3.2.2. ATG Coimbra .....	71
5.3.3. Análise química.....	74
5.4. Microscopia Eletrônica de Varrimento (MEV) .....	76
5.5. Síntese da caracterização físico-mecânica e químico-mineralógica .....	77
6. CONCLUSÕES .....	83
6.1. Considerações Finais .....	83
6.2. Propostas para desenvolvimento futuro .....	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	87
ANEXOS – Fichas de estudo das argamassas .....	A1
Ficha de estudo 1 .....	A1
Ficha de estudo 2 .....	A3
Ficha de estudo 3 .....	A5
Ficha de estudo 4 .....	A6
Ficha de estudo 5 .....	A13
Ficha de estudo 6 .....	A16
Ficha de estudo 7 .....	A21
Ficha de estudo 8 .....	A24
Ficha de estudo 9 .....	A29
Ficha de estudo 10 .....	A32
Ficha de estudo 11 .....	A34

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Composição com azulejos de motivos islâmicos (a) e materiais usados na técnica dos azulejos hispano-mouriscos (b) (exposição MNAZ).....	25
Figura 3.2 - Materiais usados e exemplo da técnica da majólica (a) e painel de azulejos de padrão do séc. XVII (b) (exposição MNAZ) .....	26
Figura 3.3 – Limpeza e humedecimento do suporte (a), mistura dos componentes da argamassa de cal aérea até adquirirem um aspecto compacto e homogéneo (b e c) e reassentamento dos azulejos com argamassa de substituição (d) (FERREIRA, 2009).....	29
Figura 3.4 - Comparação de dois edifícios no Bairro Alto: manchas e perdas de reboco devido a infiltrações e falta de proteção (a) e em fachada azulejada, o mesmo tipo de infiltrações provocou destacamento de azulejos (b) (MIMOSO et al., 2011). .....	38
Figura 3.5 - Pormenor de crescimento abundante de vegetação na fachada azulejada num edifício na Rua da Alegria (a), na Calçada do Cardeal (b) e na Rua da Atalaia (c), todos em Lisboa. ....	39
Figura 3.6 - Azulejo com craquelê e destacamento de vitrado pelas arestas (Rua das Salgadeiras) (a) e destacamento do vitrado (Travessa das Mercês) (b e c), em Lisboa. ....	39
Figura 3.7 – Argamassa de assentamento com base em cimento que resultou no decaimento do revestimento azulejar.....	40
Figura 3.8 - Fachada azulejada com manchas decorrentes de excesso de humidade num edifício na Calçada do Cardeal (a) e instabilização de azulejos com formação de “barrigas” de destacamento na rua da Atalaia (b e c). ....	41
Figura 3.9 - Degradação em estado avançado de revestimento azulejar devido à presença de sais (a) e edifício no Ribatejo onde é notória degradação total da fachada azulejada devido à falta de intervenção atempada (b) (MIMOSO et al., 2011). ....	41
Figura 4.1 - Processo de divisão do provete maior da amostra TAV4 nos provetes TAV4-1 e TAV4-2. ....	47
Figura 4.2 - Realização do ensaio de capilaridade .....	48
Figura 4.3 - Secagem dos provetes sujeitos ao ensaio da capilaridade.....	49
Figura 4.4 - Preparação do capeamento de regularização dos provetes para ensaio de compressão.....	50
Figura 4.5 - Realização do ensaio de compressão: antes da aplicação da carga (a) e rotura do provete TAV 4-2 (b).....	50
Figura 4.6 - Realização do ensaio da porosidade aberta (a) pesagem hidrostática (b) .....	51
Figura 4.7 - Remoção de partículas soltas e imperfeições pontuais do provete maior da amostra TAV4 (a), linhas definidas para colocação dos transdutores (b) e realização do ensaio de ultrassons (c).....	52
Figura 4.8 - Preparação de fração fina.....	53
Figura 4.9 - Preparação de fração global .....	53
Figura 4.10 - Incidência de um feixe de raios X, com comprimento de onda $\lambda$ , a incidir com um ângulo $\theta$ num conjunto de planos cristalinos com espaçamento d (GRILO, 2013). ....	54
Figura 4.11 - Preparação da pastilha de amostra para ensaio de DRX (a) e difratómetro de raios X Philips PW1830 (b) .....	55
Figura 4.12 - Analisador “SETARAM ATG 92-16.18” .....	55
Figura 4.13 - Pesagem das amostras (a), agitação magnética das soluções (b) e medição do pH de cada solução (c) .....	56
Figura 4.14 - Mecanismo preparado para realizar a decantação das soluções .....	57
Figura 4.15 - Vareta de vidro com polívia (a), pedaços de filtro após remoção de resíduos do agitador (b) e agitador com resíduos ferrosos da solução de RL1 (c) .....	58
Figura 4.16 - Colocação dos cadinhos na mufla (a), calcinação dos cadinhos a 1000°C (b) e cadinho preenchido com os filtros com os resíduos insolúveis filtrados (c).....	58
Figura 4.17 - Aparelho de impregnação a vácuo LOGITECH IU30 (a), materiais para preparação da resina (b) e impregnação das amostras (c) .....	59

Figura 4.18 - Máquina de polimento LOGITECH PM5 com prato abrasivo colocado (a), várias amostras preparadas com resina (incluindo TAV2, TAV4, HA1 e IMD) colocadas no porta-amostras na máquina de polimento (b) e na máquina de polimento com diamante (c).....	60
Figura 4.19 - Recobrimento das amostras com película de ouro (a) e microscópio eletrónico de varrimento (b) .....	60
Figura 5.1 - Coeficientes de capilaridade médios obtidos por amostra.....	62
Figura 5.2 – Absorção de água em função do tempo ( $\text{min}^{1/2}$ ) .....	62
Figura 5.3 – Pormenor dos primeiros 10 minutos <sup>1/2</sup> de absorção de água.....	62
Figura 5.4 – Taxas de secagem da primeira e segunda fases de secagem .....	63
Figura 5.5 – Perda de água em função do tempo, ilustrando à primeira fase de secagem.....	64
Figura 5.6 - Perda de água em função da $t$ , ilustrando a segunda fase de secagem .....	64
Figura 5.7 - Comparação entre taxa de secagem da primeira fase e coeficiente de capilaridade por contacto .....	64
Figura 5.8 - Resistência à compressão das amostras analisadas.....	65
Figura 5.9 – Relação entre a porosidade aberta e a resistência à compressão das amostras .....	66
Figura 5.10 - Relação entre porosidade aberta e coeficiente de capilaridade .....	66
Figura 5.11 - Curvas TG e dTG da análise termogravimétrica da amostra TAV2 (Lisboa) .....	69
Figura 5.12 - Curvas TG e dTG da análise termogravimétrica da amostra MMC1 (Coimbra).....	72
Figura 5.13 - Microestruturas das amostras TAV2 (a) e TAV4 (b) obtidas por MEV .....	76
Figura 5.14 - Microestruturas das amostras HA1 (a) e IMD (b) obtidas por MEV.....	76
Figura A 1 - Azulejos de onde provêm as amostras HM1 e HM2.....	A3
Figura A 2 - Edifício nº 13 da Travessa André Valente (atualmente) (a) e exemplos de revestimento azulejar do seu interior (b e c) (W2) ((c) trata-se do registo de origem da amostra TAV3) .....	A7
Figura A 3 - Levantamento dos azulejos do edifício: origem das amostras TAV1, TAV2 e TAV3 (a e b) e origem da TAV4 (c) .....	A7
Figura A 4 - Amostragem TAV1, TAV2, TAV3 e TAV4 (respetivamente).....	A7
Figura A 5 - Antigo Sanatório da Flamenga (W14) .....	A14
Figura A 6 - Levantamento fotográfico do interior da capela aquando da intervenção do museu .....	A14
Figura A 7 - Amostragem CAS .....	A14
Figura A 8 - Hospital de Arroios atualmente: zona do antigo hospital (a e b) e Igreja do Convento de Nossa Senhora da Conceição de Arroios (c) .....	A17
Figura A 9 - Pannel de azulejo retratando 3 episódios da vida de São Francisco Xavier (origem das amostras HA2 e HA3) .....	A17
Figura A 10 - Amostragem HA1 .....	A17
Figura A 11 - Igreja da Madre de Deus .....	A21
Figura A 12 - Planta de localização do pannel 16 (a) (SERUYA et al., 2002) e pannel 16, origem das amostras IMD (b) .....	A22
Figura A 13 - Pannel 1 representando “Moisés e a sarça ardente” incompleto do lado esquerdo (cabeça de animal cortada) (SERUYA et al., 2002).....	A22
Figura A 14 - Amostragem IMD .....	A22
Figura A 15 - Antigo Regimento dos Lanceiros Nº2 (a) (W30) e azulejos da sala do comandante antes da remoção (b).....	A29
Figura A 16 - Levantamento dos azulejos da sala do comandante (a) e amostragem RL1 (b e c).....	A29
Figura A 17 - Fachada principal do edifício na Rua dos Caminhos de Ferro na altura da intervenção (a) e atualmente (b).....	A32
Figura A 18 - Fachada de tardoz do edifício na Calçada do Cardeal na altura da intervenção (a) e atualmente (b).....	A32
Figura A 19 - Placa relevada com ano, origem da amostra FR (visível no tardoz da placa).....	A32

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos I-V .....	9
Tabela 2.2 - Caracterização de argamassas de casos de estudo do século XII .....	12
Tabela 2.3 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XII-XVII .....	13
Tabela 2.4 – Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XVIII-XIX.....	19
Tabela 2.5 – Caracterização de argamassas de casos de estudo XIX-XX.....	20
Tabela 3.1 - Identificação dos casos de estudo de argamassas de assentamento recolhidos na literatura .....	32
Tabela 3.2 - Caracterização das argamassas de assentamento dos casos de estudo da literatura .....	36
Tabela 4.1 - Identificação das amostras em análise.....	44
Tabela 4.2 - Organização dos ensaios físicos e mecânicos .....	47
Tabela 5.1 – Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade.....	61
Tabela 5.2 – Taxas de secagem da primeira e segunda fases do processo de secagem das amostras .....	63
Tabela 5.3 – Massa volúmica aparente, real e porosidade aberta das amostras .....	65
Tabela 5.4 – Módulo de elasticidade da amostra TAV4 .....	66
Tabela 5.5 – Composição mineralógica das argamassas de assentamento de azulejos de Lisboa .....	68
Tabela 5.6 - Composição mineralógica das argamassas de assentamento de azulejos de Coimbra.....	68
Tabela 5.7 - Traços ponderais calculados através de análise ATG para as amostras de Lisboa .....	71
Tabela 5.8 - Traços ponderais calculados através de análise ATG para as amostras de Coimbra .....	74
Tabela 5.9 - Processo de cálculo do traço ponderal com base na %RI obtida por ataque ácido das amostras .....	75
Tabela 5.10 - Comparação dos traços ponderais com base em análise ATG e ataque ácido .....	75
Tabela 5.11 – Caracterização das argamassas de assentamento de azulejo antigas em análise .....	79



## **SIMBOLOGIA**

### **Argamassas (por ordem cronológica)**

- ARQ – argamassas de assentamento de azulejo, do século XVI, provenientes de escavações arqueológicas em Lisboa
- HM – argamassas de assentamento de azulejos hispano mouriscos do século XVII
- PL – argamassas de assentamento de azulejos de um painel de Lisboa do século XVII
- TAV – argamassas de assentamento de azulejo do edifício nº13 da Travessa André Valente em Lisboa, dos séculos XVII-XVIII
- CAS – argamassas de assentamento de azulejo da capela do Antigo Sanatório da Flamenga em Vialonga, dos séculos XVII-XVIII
- HA – argamassas de assentamento de azulejo do antigo Hospital de Arroios em Lisboa, do século XVIII
- IMD – argamassas de assentamento de azulejo da Igreja da Madre de Deus em Lisboa, do século XVIII
- RL – argamassas de assentamento de azulejo do antigo Regimento dos Lanceiros nº2 em Belém, dos séculos XVIII-XIX
- FR – argamassa de assentamento de placa relevada com ano de edifício em Lisboa constituído por azulejos da Fábrica Roseira, do século XIX
- MMC – argamassas de assentamento de azulejo do inventário do Museu Nacional Machado de Castro em Coimbra (MMC1-10 do século XVIII e MMC11-21 de data desconhecida)

### **Ensaaios e determinações**

- Ccc – coeficiente de capilaridade por contacto
- Ccc<sub>5</sub> - coeficiente de capilaridade por contacto aos 5 minutos
- Rc – resistência à compressão
- P<sub>ab</sub> – porosidade aberta
- ρ<sub>b</sub> – massa volúmica aparente
- ρ<sub>r</sub> – massa volúmica real
- E<sub>du</sub> – módulo de elasticidade dinâmico por ultrassons
- DRX – análise por difração de raios X
- ATG – análise termogravimétrica
- AQ – análise química com ataque por ácido clorídrico
- MEV – microscopia eletrónica de varrimento

### **Outros**

- MNAZ – Museu Nacional do Azulejo





# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Motivação e enquadramento

Por todo o país é notório e alarmante o estado de degradação do património edificado, condição que sobressai especialmente quando os revestimentos, “cartão de visita” do edifício, cuja principal função é a proteção das respetivas paredes, tornam patente esse estado de degradação. Vários são os fatores que podem estar na origem da degradação de um revestimento: presença excessiva de humidade, agentes climáticos, colonizações biológicas, poluição, falta de manutenção ou até mesmo intervenções de conservação mal planeadas e incompatíveis com as características inerentes ao edifício a conservar.

Um dos tipos de revestimento mais típicos de Portugal, nomeadamente nas cidades de Lisboa, Porto e Ovar, entre outras, é o revestimento azulejar, revestimento que reporta à história portuguesa, constituindo assim um testemunho cultural importantíssimo e de grande interesse turístico. À semelhança dos revestimentos ditos comuns (rebocos exteriores e interiores), o revestimento azulejar quando sujeito aos fatores de degradação mencionados também sofre deterioração, sendo três os alvos afetados: suporte, argamassa de assentamento e azulejo. Nos revestimentos azulejares, a argamassa de assentamento é o elo de ligação entre o suporte (parede geralmente de alvenaria) e o azulejo propriamente dito. Esta merece uma atenção especial visto que o seu comportamento terá influência direta no sistema no seu todo.

É ponto assente que as argamassas de substituição mais compatíveis com materiais antigos são as que possuem características físico-mecânicas e químico-mineralógicas semelhantes a esses materiais. Para atingir esse objetivo é fundamental apurar, numa primeira fase, as características dos materiais existentes, para se elaborar uma matriz de conhecimentos de apoio a futuras intervenções de conservação e reabilitação.

Face aos poucos trabalhos desenvolvidos no âmbito da caracterização de argamassas antigas de assentamento de azulejos, e dada a crescente consciencialização para a preservação e conservação do património azulejar, a ampliação dos conhecimentos no que respeita às características deste tipo de argamassas reveste-se de extrema importância e pertinência.

A presente dissertação surge no âmbito do projeto PTDC/EPH-PAT/4684/2014: DB-HERITAGE, uma base de dados de materiais de construção com interesse histórico e patrimonial, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, que visa sobretudo disponibilizar dados que facilitem o correto planeamento de intervenções de reabilitação e conservação, tendo por base resultados reais de caracterizações previamente executadas.

## 1.2. Objetivos e metodologia

Foi estabelecido como objetivo principal desta dissertação o alargamento da matriz de conhecimentos relativa à caracterização de argamassas antigas de assentamento de azulejos, sobre as quais se dispõe ainda de pouca informação. Para isso pretende-se aferir características físicas, mecânicas, químicas e mineralógicas relativas a este tipo de argamassas, através de uma recolha bibliográfica exaustiva e sua complementação com uma campanha experimental englobando amostras compreendidas entre os séculos XVI e XIX, provenientes de Lisboa e Coimbra e disponibilizadas pelo Museu Nacional do Azulejo. Para além deste objetivo, pretende-se ainda procurar estabelecer tendências na composição das argamassas mediante as épocas, regiões e tipos de edifício a que pertencem. Neste sentido, através da caracterização das amostras e das conclusões que advirão desse processo, pretende-se dar um contributo essencialmente na área da conservação dos revestimentos azulejares.

Para a concretização dos objetivos propostos, a metodologia seguida na presente dissertação foi a seguinte:

- exaustivo levantamento bibliográfico relativo a características de argamassas de assentamento de azulejo antigas;
- caracterização físico-mecânica e químico-mineralógica das amostras de argamassa de assentamento de azulejo;

- aferição das principais conclusões e tendências através da correlação da informação recolhida da literatura com os resultados obtidos da campanha experimental realizada.

### 1.3. Estrutura e organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos, sendo que a bibliografia e os anexos constituem capítulos independentes. No presente capítulo, introdução, apresenta-se o enquadramento ao tema da dissertação, os principais objetivos a que se propõe, bem como a metodologia utilizada para os cumprir e ainda o plano de estruturação do corpo do texto.

O segundo capítulo diz respeito ao estado de conhecimentos relativo às argamassas de cal antigas, nomeadamente a evolução das argamassas de cal através dos tempos, noções de compatibilidade entre argamassas de revestimento antigas e de substituição e uma breve recolha de um conjunto de características de argamassas antigas, estudadas anteriormente por diversos autores, que permitiu extrair algumas tendências relativamente à formulação das argamassas ao longo dos tempos.

No terceiro capítulo a temática principal é o azulejo, iniciando-se com uma breve cronologia da sua utilização em Portugal, seguida de uma recolha bibliográfica de diversas técnicas antigas de aplicação e de alguns estudos que foram realizados a respeito da caracterização de argamassas de assentamento de azulejo. Ainda nesse capítulo, apresentam-se algumas questões de compatibilidade e durabilidade das argamassas de assentamento de azulejo.

No quarto capítulo é descrito todo o processo de inventariação e categorização das 40 amostras em análise, bem como todos os procedimentos de ensaio realizados para a sua caracterização físico-mecânica e químico-mineralógica.

No quinto capítulo são apresentados todos os resultados decorrentes dos ensaios de caracterização das argamassas, segundo tabelas e figuras, e é realizada a discussão e correlação entre os resultados e comparação com algumas características obtidas em referências bibliográficas.

No sexto e último capítulo é realizada uma síntese dos principais resultados apurados ao longo deste estudo e são apresentadas propostas para desenvolvimentos futuros da temática abordada na presente dissertação.

Os anexos são constituídos pelas fichas de estudo identificativas das amostras analisadas, onde é possível consultar mais alguns pormenores do que os apresentados no quarto e quinto capítulos, como o registo fotográfico do levantamento das amostras e do edifício a que pertencem e o contexto histórico do meio envolvente, e onde são apresentados os resultados detalhados obtidos através da campanha experimental, para cada amostra.

## 2. ARGAMASSAS DE CAL ANTIGAS

### 2.1. As argamassas de cal através dos tempos

As argamassas aplicadas no revestimento de paredes desempenham um papel fundamental na reabilitação e conservação dos edifícios, não só pela sua função de proteção do substrato, mas também pela influência muitas vezes decisiva na imagem e na caracterização estética dos edifícios.

De um modo geral, as argamassas aplicadas em revestimentos antigos são constituídas por argamassas de cal aérea e areia (VEIGA, 2006a). A cal é um dos materiais mais antigos utilizados na construção. As primeiras utilizações de argamassas de cal são relatadas desde a descoberta do fogo no Paleolítico. No período do Neolítico, por volta de 6000 a.C., em Çatal Huyuk na Turquia, registaram-se as primeiras aplicações de cal aérea hidratada (também denominada cal apagada, extinta ou simplesmente hidróxido de cálcio –  $\text{Ca(OH)}_2$  - produto da extinção/hidratação da cal viva -  $\text{CaO}$ ). O primeiro testemunho da utilização de cal, combinada com gesso, pelos egípcios é no assentamento dos blocos de pedra que constituem as pirâmides egípcias (4000 a 2000 a.C.) (BOYNTON, 1980, citado por MARGALHA, 2011; HENRIQUES, 1996). Mas a primeira utilização conhecida da cal, inicialmente misturada com areia, na formulação de argamassas de revestimento chega com os gregos (séc. VII a.C. a II a.C.), no decorrer da crescente preocupação com o desenvolvimento dos materiais e técnicas até aí utilizadas, fazendo face à sua ideologia de arquitetura monumental e de construção de obras grandiosas e perduráveis (PAPAYIANNI et al., 2007 e 2013).

Em 1250 a.C. ocorreu uma terrível erupção na atual ilha de *Santorini*, situada no Mediterrâneo Oriental, com a explosão da parte superior da cratera do vulcão *Tera* da qual resultou uma nuvem de cinzas, que os cientistas calculam ter atingido 300 mil quilómetros quadrados e que viria a dar várias voltas ao mundo (ALVAREZ et al., 2005). Essas cinzas, juntamente com as cinzas provenientes da erupção do vulcão Vesúvio, na baía de Nápoles, viriam a ter um papel extremamente importante quando integradas na formulação das argamassas contemporâneas das civilizações grega e romana. Por se encontrarem junto à população de *Pozzuoli*, as cinzas provenientes do Vesúvio ficaram conhecidas por pozolanas. Esta denominação mantém-se até aos dias de hoje e refere-se a um material natural (quando formadas por ação do arrefecimento brusco de lavas vulcânicas meteorizadas) (FARIA, 2004) ou artificial (como seja o material cerâmico pulverizado proveniente de tijolos, telhas ou artefactos cerâmicos, com sílica e/ou alumina no estado amorfo) que, na ausência de água, apresenta um comportamento inerte, mas quando misturado com cal e água reage com o hidróxido de cálcio da cal ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) e com a água originando, através das denominadas reações pozolânicas, compostos hidráulicos como silicatos e aluminatos de cálcio hidratados (FARIA, 2004; CHAROLA et al. 2005; ALVAREZ et al., 2005). As pozolanas não só são responsáveis por conferir propriedades hidráulicas às argamassas que incorporam, ao possibilitarem o seu endurecimento debaixo de água ou sob ambientes húmidos, como também são responsáveis por conferir grande durabilidade à argamassa de cal, conservando-a ao longo do tempo sem necessidade de manutenções frequentes. Contudo, na Grécia a utilização da cal foi algo limitada, por se privilegiar o princípio coluna-lintel, sem utilização de argamassa na união e também pela utilização de argila em detrimento da cal como argamassa de assentamento das alvenarias (ALARCÃO, 1978, citado por MARGALHA, 2011). Por sua vez, o povo Etrusco deixou vestígios da utilização de cal nas alvenarias de cisternas e túmulos. No entanto, foram os Romanos (estabelecidos em Portugal entre os séculos III a.C. e VI d.C.) que, encarnando o mesmo espírito de grandiosidade do povo Grego e ao empreenderem grandes construções naquele que viria a tornar-se um vasto império – constituído por aquedutos, basílicas, imponentes anfiteatros, entre outros – tornaram a ter como principal foco o desenvolvimento de novas técnicas e a aplicação mais eficaz das argamassas. Foi no período do Império Romano que se deu o apogeu das técnicas mais brilhantes de formulação, otimização e aplicação de argamassas, que infelizmente não tiveram continuadores tão brilhantes, tendo-se perdido algumas dessas técnicas com o tempo. Porém, além das construções e vestígios existentes por todo o mundo que até hoje se foram mantendo e sobre as quais têm vindo a ser desenvolvidos vários estudos e investigações para se tentar fazer uma aproximação a toda a técnica desenvolvida outrora, existe alguma

documentação escrita, nomeadamente “Os Dez Livros de Arquitetura” de Vitruvius (MARGALHA, 2011), arquiteto contemporâneo de Júlio César. Através dessas investigações tem-se vindo a confirmar que as argamassas desse período apresentam uma resistência e durabilidade consideráveis, revelando como principal ligante a cal aérea combinada com pozolanas naturais ou artificiais, como fragmentos e pó de cerâmica de barro vermelho (de tijolos, telhas, entre outros). Estes materiais cerâmicos eram incorporados nas argamassas especialmente nas zonas onde não se dispunha de pozolanas naturais, e devido às suas características conferiram um bom comportamento mecânico e face à água (VELOSA et al. 2002; VEIGA, 2012), mantendo-as até aos dias de hoje. Revestimentos com este tipo de argamassa são conhecidos por *Opus Signinum*, designação que deriva da localidade de *Signia* onde se reutilizavam resíduos cerâmicos, fabricados a partir de argilas locais, para a formulação de argamassas (DAVIDOVITS, 1995; RUA, 1998, citados por VELOSA, 2006). Com o final do Império Romano, desencadearam-se uma série de problemas económicos que se vieram a refletir na própria formulação das argamassas (ALVAREZ et al., 2005) que foram perdendo qualidade, ao apresentarem menor percentagem de cal e pior comportamento mecânico, face à água e em termos de durabilidade. Registou-se, portanto, o decaimento das técnicas romanas.

No sul de Portugal, o uso tradicional de cal no revestimento de paredes ressurgiu com o período de ocupação muçulmana, que durou cerca de cinco séculos nessa região (séc. VII a XII d.C.) (MARGALHA, 2011). Nesse período, a cal teve uma grande utilização na pintura, tanto nas paredes de cor branca como nas de outras cores, pela junção de pigmentos, tendência bastante frequente em Itália e no Centro e Norte da Europa. O hábito no Sul de Portugal de caiar anualmente as paredes das casas e os muros das habitações que ainda hoje se verifica em algumas aldeias e em parte nas cidades, permaneceu desde esse período (MARGALHA, 2011). Também na formulação das argamassas de revestimento deste período se verifica a utilização de cal, frequentemente combinada com gesso em rebocos interiores (ALVAREZ et al., 2005; SILVA et al., 2010a e 2010b). A introdução do gesso nas argamassas de reboco interior (quer como ligante único ou combinado com a cal) foi uma técnica introduzida pelos árabes na Europa que marcou este período pela grande riqueza decorativa e que veio trazer importantes modificações ao nível das argamassas, sendo os árabes possuidores de uma elevada técnica construtiva. Essa técnica era visível no domínio de conceitos como a hidrofugação do gesso, com o impedimento da dissolução dos sulfatos do gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) na água (ALVAREZ et al., 2005), existindo alguns casos pontuais da utilização deste tipo de argamassas em rebocos exteriores em Espanha.

Por muitos anos, a cal aérea continuou a ser o ligante usado na maioria das argamassas de revestimento. Mas a necessidade de construir em zonas marítimas e fluviais levou o mundo científico a procurar aglomerantes específicos para endurecerem na presença de água (ALVAREZ et al., 2005). Assim, no século XVI foi descoberta a cal hidráulica, que ganhou mais expressão apenas no século XVIII com John Smeaton (SABBIONI et al., 2002; SOUSA COUTINHO, 1988). Várias foram as patentes registadas para a fabricação de cal hidráulicas e cimentos naturais a partir de calcários margosos (p.e. as de Parker, em 1791) mas foi Louis Vicat que, no início do século XIX, através de várias análises químicas compreendeu e demonstrou que para se obterem ligantes hidráulicos ou cimentos não era necessário que a argila estivesse naturalmente incorporada no calcário, bastando misturar argila com calcários finamente moídos e cozendo essa mistura para se obter, por via artificial, o que naturalmente se obtinha pela cozedura dos calcários argilosos (SOUSA COUTINHO, 1988; MARGALHA, 2011). Finalmente, em 1824, J. Aspdin patenteia um processo para obtenção de cal hidráulica artificial que permitia atingir elevadas resistências (SOUSA COUTINHO, 1988; MARGALHA, 2011). O cimento obtido através dessa cal ficou conhecido como *cimento Portland* devido às suas semelhanças em termos de cor, solidez e durabilidade ao calcário da ilha de Portland, sendo, no entanto, um produto diferente do cimento Portland dos dias de hoje (SOUSA COUTINHO, 1988; MARGALHA, 2011). O processo desenvolvido por Aspdin manteve-se ciosamente secreto até que, em 1844, I. C. Johnson o desvendou, demonstrando que as elevadas resistências obtidas por Aspdin se deviam à fusão de parte da matéria-prima a elevadas temperaturas, conduzindo à formação do silicato tricálcico, conhecido hoje como o componente nobre do cimento Portland (SOUSA COUTINHO, 1988; MARGALHA, 2011).

Desde a sua descoberta, o cimento tem sido o ligante mais largamente utilizado em construções novas e muitas vezes, indevidamente, em construções antigas. A sua grande capacidade de resistência adquirida em poucos dias terá sido um dos principais fatores da sua rápida divulgação e utilização. Inicialmente, provavelmente associado ao seu custo, destinava-se a obras em que a hidraulicidade era fundamental pela presença constante de água, como fossas sépticas, infraestruturas de água e esgotos. Mais tarde combinou-se o cimento à cal e à areia, formando-se as argamassas bastardas. Em Portugal, a partir da segunda metade do século XX, o cimento passou a ser o principal ligante na composição das argamassas de reboco (CANDEIAS et al., 2006), tendo a utilização da cal caído em desuso a partir dos anos 70 (MARGALHA, 2011). O uso generalizado do cimento, primeiramente em elementos resistentes da construção e posteriormente nos próprios revestimentos, em certos casos revestimentos antigos, veio alterar gradualmente o aspeto e decoração das novas fachadas. E se as argamassas de cimento Portland são consideradas como adequadas para paredes modernas, revelam-se incompatíveis com a generalidade das construções antigas e, contrariamente aos conceitos nutridos durante anos, apresentam menor durabilidade que as argamassas de cal, quando estas são bem executadas e devidamente aplicadas (VEIGA, 2006a e 2007). Diversas anomalias associadas às argamassas de cimento ocorrem não só em revestimentos correntes, como sejam os rebocos, mas também noutros tipos de revestimentos como os de azulejos, causando frequentemente desprendimentos (quando se rompe a ligação entre os azulejos e a argamassa de assentamento) e fendilhação (quando a resistência dos azulejos é inferior à resistência de ligação entre a argamassa e o azulejo) (APPLETON, 2011).

## **2.2. Compatibilidade entre argamassas de revestimento antigas e de substituição**

Num contexto em que a crescente (e por vezes desenfreada) preocupação em reabilitar os edifícios tem frequentemente espoletado a tomada de decisões inadequadas, é fundamental ter presentes os inconvenientes da utilização de argamassas de cimento na reabilitação e conservação de revestimentos de edifícios aquando do planeamento de uma intervenção. Este tipo de argamassas apresenta um aspeto final muito diferente das argamassas antigas, nomeadamente a textura da superfície ou o modo como refletem a luz (VEIGA, 2003). Mas mais grave do que as alterações a nível estético são as alterações provocadas no funcionamento global da parede. Os rebocos à base de cimento possuem sais solúveis na sua composição e são menos permeáveis ao vapor que as argamassas e alvenarias de cal, típicas nas paredes de edifícios antigos. A colocação deste tipo de revestimentos em edifícios antigos implica que as paredes, ao serem humedecidas (por humidade gerada no interior ou proveniente de ascensão capilar) irão ser alvo da ação dos sais (sulfatos, cloretos, nitratos). Estes dissolvem-se e são transportados pela água no seio da parede no seu processo de secagem (da fonte para a superfície). Os sais, ao encontrarem uma barreira ao vapor, constituída por exemplo por um reboco de cimento, ficam concentrados na zona da parede junto a essa barreira. Em situações correntes de secagem e molhagem ocorrem ciclos sucessivos de dissolução e cristalização dos sais, desenvolvendo-se tensões excessivas que acabam muitas vezes por originar falta de coesão nessa zona da parede (por trás do reboco de cimento), empolamentos, fendilhação, que podem mesmo culminar no destacamento em placa do revestimento (FARIA, 2004; GONÇALVES et al., 2009 e 2014; VEIGA, 2006a e 2006b), revelando a degradação real da parede que tinha vindo a ser escondida e “silenciada”. Mas outros inconvenientes devem ser tomados em conta, como a rigidez excessiva deste tipo de revestimentos que, por serem mais fortes que as argamassas antigas, acabam por sacrificá-las e acelerarem a degradação, em vez de as protegerem e conservarem. Deste modo, a utilização inadequada deste tipo de argamassas resulta quase sempre na remoção das argamassas antigas, com perdas irreversíveis do seu valor estético, técnico e patrimonial, e na sua substituição na totalidade por argamassas novas. Esta situação decorre muitas vezes da falta de rigor no cumprimento de requisitos fundamentais, como a compatibilidade a nível mecânico, físico e químico entre as argamassas “novas” e as alvenarias antigas que os revestimentos são supostos proteger e conservar (FARIA et al., 2008).

Tendo por base os inconvenientes apresentados, a primeira hipótese a encarar deve ser a conservação do reboco antigo, mediante operações de reparação pontual ou mesmo de consolidação e, apenas se se

verificar que o estado de conservação do reboco não permite a sua conservação, se deve encarar a sua substituição, através de um revestimento de substituição recorrendo a materiais e técnicas compatíveis com os elementos pré-existentis (VEIGA, 2006b).

Veiga (2005) reúne um conjunto de requisitos que as argamassas de substituição devem cumprir para que não ocorra nenhum dos inconvenientes mencionados. Primeiramente, estas argamassas devem respeitar as exigências de autenticidade, preservando-se os elementos mais antigos do edifício, durante o máximo tempo possível, e a sua identidade. Por outro lado, não devem prejudicar a apresentação visual da arquitetura, nem descaracterizar o edifício nem o ambiente que o envolve, contribuindo assim para a manutenção de uma imagem histórica e esteticamente compatível, seja em termos de textura, características cromáticas ou tecnologia de aplicação. Devem cumprir um dos seus propósitos fundamentais: a proteção da parede. Para isso é crucial que a argamassa “nova” tenha um módulo de elasticidade reduzido e uma boa capacidade de deformação para que não se desenvolvam tensões elevadas quando ocorrem variações dimensionais restringidas pela aderência ao suporte (devidas à retração e a variações de temperatura, por exemplo). As características mecânicas dessas argamassas devem, portanto, ser semelhantes às das argamassas originais e inferiores às do suporte. Devem também dificultar a penetração da água até ao suporte, mas mais importante que isso, devem promover a evaporação da água proveniente da própria argamassa, das fundações por capilaridade ascendente, das coberturas e remates, ou ainda a gerada no interior dos compartimentos, evitando-se sempre que possível a presença de sais solúveis na sua constituição (como é o caso das mencionadas argamassas de cimento). O requisito de proteção engloba ainda a ação direta dos agentes climáticos, as ações mecânicas de choque e erosão, a ação química da poluição e dos sais solúveis contidos nos materiais, na água e no solo. Um dos requisitos que decorre dos já aqui apresentados trata-se da durabilidade. Por durabilidade de um revestimento entenda-se uma boa resistência mecânica, em especial aos choques, boa coesão interna, boa aderência ao suporte e entre camadas, sem descurar a possibilidade de reversibilidade, boa resistência química no que diz respeito aos sais já presentes na alvenaria antiga e resistência a colonizações biológicas, tão típicas em argamassas contendo adjuvantes orgânicos e em contacto com ambientes húmidos. Apesar de, como já foi referido anteriormente, um revestimento ser um elemento sacrificial das paredes por acatar a maior parte das solicitações em prol da preservação da parede, é de extrema importância ter em conta que qualquer deficiência no seu comportamento se refletirá em deficiências futuras no elemento que é suposto proteger. A adequabilidade ao seu papel funcional, seja reboco, junta, acabamento, assentamento de azulejos, ou outro, é também um requisito a não descurar.

Na generalidade, as argamassas com base em cal aérea, tal como na antiguidade, continuam a ser das mais aptas em intervenções de conservação e substituição. Podem ser usadas simples (formulações apenas de cals aéreas – de diferentes formas (FARIA et al., 2008) - e areia) ou aditivadas com alguns tipos de resíduos industriais (VELOSA et al., 2007a), pó de tijolo de barro vermelho (NAVRÁTILOVÁ et al., 2016; MATIAS et al., 2014), metacaulino (GAMEIRO et al., 2014; BAKOLAS et al., 2006), pozolanas naturais (VELOSA et al. 2002; VEIGA et al., 2009), entre outros aditivos, que permitem melhorar características como a permeabilidade ao vapor de água e o comportamento mecânico (como menor módulo de elasticidade). No entanto, existe a ideia que a aplicação de argamassas com base em cal aérea é complexa, especialmente por exigir uma técnica e um conhecimento especializado. Este tipo de conhecimentos e técnicas, que constam em muitos manuais de construção antigos, estão “na posse” maioritariamente de especialistas de conservação e restauro (MARGALHA et al., 2006). Devido ao baixo investimento das empresas de construção em mão-de-obra especializada para a aplicação deste tipo de material, surgem muitas vezes as referidas decisões inadequadas na escolha dos materiais. Esta discrepância entre a exigência de qualidade e rigor característica deste tipo de técnicas e o verdadeiro comprometimento e disponibilidade dos meios atuais acaba por desenrolar, praticamente, a obrigação de desenvolver alternativas e modos mais pragmáticos de atingir tecnologias compatíveis e mais simples (práticas, segundo as empresas de construção). Esta abordagem engloba o desenvolvimento e definição de produtos pré-doseados de fácil aplicação com ligantes e agregados previamente selecionados, prontos a usar numa intervenção de conservação ou reabilitação. Contudo não é de descartar nunca que intervenções em elementos antigos, considerados parte do património arquitetónico,

exigem um leque de conhecimentos, técnicas e saberes “extra” muito mais semelhantes aos originais e com um estudo muito mais cuidado (VEIGA et al., 2001).

### 2.3. Caracterização de argamassas antigas de Portugal

A conservação e reparação de argamassas antigas não engloba apenas problemas do ponto de vista técnico, mas requer essencialmente um olhar e espírito crítico. Implica decisões no que diz respeito ao conceito arquitetónico final com base num conjunto de características dos materiais pré-existentes e também com base no conhecimento da capacidade tecnológica para praticar determinada intervenção. Deste modo, para a correta conservação e preservação do património é essencial o adequado planeamento da intervenção e é fundamental o conhecimento detalhado das características e constituintes da argamassa a ser intervencionada e do sistema em que está inserida. É essencial conhecer as camadas constituintes, a sua composição e os tipos de produtos de reação e degradação presentes. É necessário também ter sempre presente a função desempenhada, o ambiente de exposição e a origem da amostra de argamassa, o tipo de edifício de que se trata e sua localização para, não só extrair conclusões fulcrais para o planeamento da intervenção, mas também para estabelecer tendências relativas a épocas, regiões e técnicas de aplicação.

Existe a ideia generalizada de que para se ter o conhecimento científico completo acerca de uma amostra é necessária e suficiente a sua caracterização química e mineralógica (VEIGA et al., 2001). Sem dúvida que para uma boa caracterização, este tipo de análises é indispensável permitindo conhecer, entre muitas outras características, a composição em termos de agregado e ligante utilizados, respetivos traços e compostos presentes. Mas este tipo de análise por si só é valioso quando se tem plena noção do que se pretende encontrar. Uma correta e completa intervenção requer o complemento dessas análises com ensaios mecânicos e físicos (VÁLEK et al., 2000 e 2005), in situ e laboratoriais, como a resistência à compressão, módulo de elasticidade e absorção de água por capilaridade, com as devidas adaptações das técnicas de ensaio face ao estado (friabilidade e irregularidade) da amostra a analisar. É também sempre necessário ter em conta que a amostra já sofreu envelhecimento e degradação ao longo dos anos e não corresponde exatamente à argamassa original.

No âmbito da conservação e preservação do património, têm sido desenvolvidos diversos estudos por vários autores focando a caracterização física, mecânica, química e mineralógica de amostras de argamassas antigas de diferentes regiões, não só ao nível do território nacional, mas também internacionalmente, para que através do profundo conhecimento e cruzamento de várias características diferentes das argamassas de outrora se contribua para o desenvolvimento de novas técnicas e aperfeiçoamento das já existentes. Nesse contexto, numa primeira fase desta dissertação procedeu-se a um levantamento e sistematização da informação existente sobre um conjunto de argamassas antigas de edifícios portugueses, caracterizadas em estudos anteriores de vários autores, com dois principais objetivos: primeiramente a extração de tendências relativas às épocas em que as amostras antigas se inserem, seguida da identificação dos grupos de argamassas de que existe menos informação para assim se selecionar um tipo específico de argamassa a estudar no presente trabalho e ampliar a matriz de conhecimentos no que diz respeito a argamassas de revestimento antigas; por outro lado, trata-se de uma análise importante para que em trabalhos futuros seja possível proceder à caracterização dos restantes conjuntos de argamassas. Desse pré-estudo foi elaborado e submetido um artigo para o Congresso Ibero-Americano Patrima 2016, intitulado “Caracterização de argamassas antigas de Portugal – contributo para a sua correta conservação”, que foi aceite, integrado nos Anais do congresso e apresentado no LNEC a 02 de Novembro de 2016 (DAMAS et al., 2016).

Esse estudo inicial consistiu numa recolha de informação de numerosos casos de estudo que foi sintetizada em diversas tabelas, por épocas cronológicas principais, nomeadamente dos séculos I-V (Tabela 2.1), século XII (Tabela 2.2), séculos XII-XVII (Tabela 2.3), séculos XVIII-XIX (Tabela 2.4) e séculos XIX-XX (Tabela 2.5). Nessas tabelas estipulou-se uma organização específica para a informação a apresentar: a primeira coluna é destinada à identificação do caso de estudo, à época em que se insere, ao tipo de edifício a que diz respeito e à referência bibliográfica consultada para o caso em questão; a segunda coluna apresenta a amostra, a sua origem e função; a terceira coluna indica o grau de deterioração das amostras aquando a sua

recolha; da quarta coluna em diante são apresentados os resultados dos diversos ensaios a que as amostras foram submetidas, nomeadamente a composição em termos de ligante/agregado e respetivo traço ponderal, produtos de reação e/ou degradação presentes e ainda resultados dos ensaios de resistência à compressão ( $\text{N/mm}^2$ ) e coeficiente de capilaridade por contacto ( $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ ). Sempre que se menciona como ligante apenas cal aérea significa que não foi possível distinguir se se trata de cal aérea calcítica ou dolomítica ou porque existem os dois tipos num conjunto de amostras variado. Nos estudos sintetizados apresentam-se maioritariamente argamassas de revestimento (interior ou exterior) e em menor quantidade argamassas de refechamento de juntas, assentamento de alvenarias e assentamento de azulejos (neste último caso apenas duas amostras). Devido à limitada informação existente sobre a caracterização de argamassas de assentamento de azulejos, foi este último tipo de argamassa o selecionado para análise na presente dissertação.

No que diz respeito às argamassas dos séculos I a V, período em que decorria a ocupação Romana em Portugal (Tabela 2.1), verificou-se que são constituídas, em praticamente todos os casos estudados, por cal aérea calcítica (dolomítica nas argamassas de Coimbra) e agregados siliciosos combinados com fragmentos e pó de tijolo de barro vermelho, material cerâmico que confere propriedades hidráulicas às argamassas de cal aérea. A introdução de pó de tijolo encontra-se mais presente em revestimentos interiores e exteriores e no revestimento de pavimentos, enquanto os fragmentos cerâmicos são incorporados principalmente em argamassas com requisitos mecânicos mais elevados (termas, tanques de banhos, reservatórios, cisternas de água e condutas) (VELOSA, 2007b). Todos os casos desta época apresentam bom estado de conservação precisamente porque a combinação da cal com o material cerâmico desencadeia reações pozolânicas das quais resultam produtos hidráulicos (como os géis de CSH) (VEIGA, 2012) responsáveis pelo melhor comportamento da argamassa a nível mecânico e face à água.

Da análise das amostras do século XII (Tabela 2.2), verificou-se que a composição das argamassas tipicamente usadas em Portugal neste período é consistente com a composição usada em países como Espanha, exatamente no mesmo período. Exemplo disso é a Igreja de San Cernin (séculos XII-XIII), em Pamplona, (ALVAREZ et al., 2000) cujas argamassas de revestimento interior são compostas por cal aérea calcítica combinada com gesso e agregado (maioritariamente) silicioso, tal como o verificado nos casos recolhidos no mesmo período em Portugal (à exceção do Mosteiro de Santa Cruz, Coimbra, que apresenta cal dolomítica). Esta constatação vai ao encontro dos factos históricos que comprovam a influência do povo islâmico entre os séculos VII e XII na sequência da invasão e domínio da Península Ibérica.

A introdução do gesso nas argamassas (como ligante único ou combinado com a cal) foi uma técnica introduzida pelos árabes na Europa que marcou este período e que veio trazer importantes modificações ao nível das argamassas interiores, permitindo trabalhos decorativos com maior perfeição, e, em raros casos (em Espanha), também exteriores, sendo os árabes possuidores de uma elevada técnica construtiva.

É de notar que, conforme se havia constatado, não se registou a introdução de elementos cerâmicos em nenhum dos casos de estudo analisados desta época, reforçando a teoria do decaimento da técnica romana do uso de pozolanas com a queda do Império. Apesar dos casos de estudo recolhidos desta época serem bastante conclusivos, pertencem todos ao final do período islâmico (século XII – Tabela 2.2), pelo que seria enriquecedor complementar a investigação com outros casos deste período, anteriores ao século XII.



Tabela 2.1 – Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos I-V

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/*Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Subcave do Museu Machado de Castro (Coimbra)/I? / Serviços/*24	MC3: Reboco em parede de pedra (criptopórtico)	Baixo	Cal aérea dolomít.: areia silic.	-	-	2,2	Ccc=0,785
	MC4: Junta em alvenaria de tijolo (fundo do corredor)	Alto	Cal aérea dolomít.: areia silic e minerais argilosos	-	-	-	-
Villa Romana de Pisões (Beja) /I-IV/ Industrial - Serviços / *1	P1: Revest. <i>caldarium</i>	Sem sinais de degrad.	Cal aérea calcítica: agregado quartzítico e xistoso, com pó e fragmentos de tijolo	-	-	-	-
	P2: Revest. <i>prae-furnium</i>			1:1	-	-	-
	P3: Revest. <i>apodyterium</i>			1:3	-/Coloniz. biológica	-	-
	P4: Revest. <i>peristilio</i>			1:3	Alumino- silicatos de cálcio/-	-	-
	P5: Revest. salas			1:3	-	-	-
	P6: Revest. exterior <i>natio</i>			-	Aragonite/-	-	-
	P7: Revest. interior <i>natio</i>			-	Carbo- aluminatos de cálcio hidrat./-	-	-
	P8: Revest. mausoléu			1:4	Aragonite/-	-	-
	PM: Revest. moinho			1:4	-	-	-
	PB1, 2: Revest. barragem			1:1	Aragonite/-	-	-
Cetária de Tróia (Grândola, Setúbal) /I-IV/ Industrial - Serviços / *8,9,10,2,24	CT1: Enchim. parede alvenaria de pedra e mista	Degrad. estética superf.	Cal aérea: areia silicosa	1:5	-/Halite	2,5	Ccc <sub>s</sub> =2,2
	CT2: Revest. alvenaria de pedra e mista		Cal aérea: areia silic., calcária e dolomít.: pedra calcária	4:1:12	Aragonite/ coloniz. biológicas, halite	4,5	Ccc <sub>s</sub> =0,4

## 2. Argamassas de cal antigas

Tabela 2.1 – Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos I-V (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/*Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Cetária de Tróia (Grândola, Setúbal) /I-IV/ Industrial - Serviços / *8,9,10,2,24 (cont.)	BCT: Revest. parede alvenaria de pedra e mista (base cetária)	Degrad. estética superf.	Cal aérea: areia silic. dolomítica e pó de tijolo	-	Aragonite/ cloro- aluminatos de cálcio hidratado, halite	5,5	Ccc <sub>5</sub> =0,4
	TPh31, TPh34: Fundação (pavim. cetária)		Cal aérea calcética: agr. silic., frag. e pó de tijolo	-	-/Cloro- aluminatos de cálcio hidratado	-	-
	TPh33: Revest. pavim.			-	-/Halite	-	-
				-	Aragonite/ Halite	-	-
	TR1-5: Revest. tanques de salga	Baixo	Cal aérea: agreg. silic. ou calcário/dolomít. (TR2, TR3) e frag. e pó de tijolo	-	Silico- aluminatos de cálcio hidratados /Halite, gesso	3,6-5,8	Ccc= 0,02-0,56
Banhos romanos (Conímbriga, Coimbra) /I-V/ Industrial - Serviços / *3, 24	CON 1-15: Revest. tanques, piscinas, banhos, paredes e pavimentos	Baixo	Cal aérea: areia silic. ou calcária/dolomít. e frag. e pó de tijolo	-	-/Anidrite; Halite	1,1-6,3	Ccc= 0,02-1,0
Estação arqueológica de Frielas (Loures, Lisboa) /III-IV/ Industrial – Serviços / *24	FR1-3: Reboco do espelho do canal de água à volta do peristilo (FR1 e FR3) e reboco interior de habitação (FR2)	Baixo	Cal aérea calcética: areia silic., frag. e pó de tijolo	-	Alumino- silicatos de cálcio/ Anidrite	0,6-2,8	Ccc= 0,4-1,27
Arco de Jesus (Alfama, Lisboa) /III-V/ Militar / *16,17	M1, M2: Revest. exterior e interior infraest suporte da porta	Sem sinais de degrad.	Cal aérea calcít.: areia silic., frag. basálticos, fossilíferos e carvão	-	Calcite recristalizada / fosfato de cálcio (coloniz. biológica)	-	Ccc <sub>25</sub> = 0,68; 0,74

Tabela 2.1 – Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos I-V (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/*Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Criptopórtico de Mértola /IV-V/(Beja) / Militar / *8,9,10,4	AAM05	Baixo: sujidade, pulveru- lência	Cal aérea: agreg. silicioso	1:3	-/Coloniz. biológica	1,5	Ccc <sub>5</sub> =0,70
Torre do Rio de Mértola (Beja)/IV- V/Militar / *9,10,8,4	AAM07: Juntas alvenaria de mármore	Baixo: erosão, pulveru- lência	Cal aérea calcítica: agregado silicioso	1:5	Carbo- aluminatos de cálcio hidratado/-	3,5	Ccc <sub>5</sub> =0,30
	MT1, MT2: Juntas alvenaria de mármore e de alvenaria de xisto	Degrad. estética superf.	Cal aérea calcít.: agr. quartzítico de xisto, fragm. e pó de tijolo	1:2, 1:5	Compostos hidráulicos/-	3,5 (MT1)	Ccc <sub>5</sub> =0,3 (MT1)
Barragem de Álamo (Faro) /Período romano/ Serviços/ *24	BA: Revest.	Baixo	Cal aérea: areia siliciosa	-	-	-	-
Betão romano/Período romano/?/ *24	BR: Assent. de pavimento	Baixo	Cal aérea: agreg. siliciosos de grandes dimensões e frag. cerâmicos	-	-	3,0	-

Notação utilizada: Ccc – coeficiente de capilaridade calculado na zona reta da curva de absorção; Ccc<sub>x</sub> – coeficiente de capilaridade por contacto aos x minutos; Referências utilizadas: \* 1-Borsoi et al. 2010, 2-Silva et al. 2006a, 3-Velosa et al. 2007b, 4-Silva et al. 2006b, 8-Veiga 2012, 9-Magalhães et al.2006, 10-Magalhães et al. 2009, 16-Borges et al. 2013, 17-Borges et al. 2014, 24-Velosa 2006

## 2. Argamassas de cal antigas

Tabela 2.2 - Caracterização de argamassas de casos de estudo do século XII

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/*Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Castelo de Evoramonte (Évora)/XII/ Militar/*9,10	EMT2	Baixo: coloniz. biológica	Cal aérea: areia siliciosa e argilosa	1:6	Alumino- silicatos de magnésio hidratados/-	1,6	-
Igreja Matriz de Mértola (Beja) /XII/ Religioso / *9,10,8,7	AAM06: Int. Mihrab	Médio: manchas de humidade	Gesso: cal aérea: agr. siliciosos e aluvionares	1:0,03 :0,15	-/Gesso	3,5	Ccc <sub>5</sub> =3,3
	MT4 Mihrab: Revest. parede alvenaria de pedra	Degrad. estética superf.	Gesso e cal aérea calcítica: agr. siliciosos e aluvionares	1:0,15	-	3,5	Ccc <sub>5</sub> =3,3
	MT5: Juntas parede alvenaria de pedra			1:3	-	3,3	Ccc <sub>5</sub> =1,0
	MT4: Revest. parede alvenaria de pedra			1:4	-	-	-
Mosteiro de Santa Cruz (Coimbra) /XII/Religioso / *13	SC: Revest. exterior teto túnel de acesso piso superior do claustro	Sem sinais de degrad.	Cal aérea dolomítica: areia siliciosa	-	-	1,6	Ccc <sub>5</sub> =2,06 (reb. + barr.)

Notação utilizada: Ccc<sub>5</sub> – coeficiente de capilaridade por contacto aos 5 minutos; Referências utilizadas: \*7-Silva et al.2010a, 8-Veiga 2012, 9-Magalhães et al.2006, 10-Magalhães et al. 2009, 13-Santos et al.2014.

Da análise realizada verificou-se que os primeiros vestígios da utilização de ligante de cal aérea dolomítica na formulação das argamassas em Portugal pertencem à época romana e dizem respeito a argamassas de Coimbra. Também no século XII se registou a presença deste tipo de ligante uma vez mais numa amostra de argamassa em Coimbra, mas esta tendência foi ganhando mais força a partir dos séculos XVI e XVII (SANTOS, 2014) (Tabela 2.3), especialmente nas regiões de Coimbra e Alentejo. Verificou-se ainda que do século XVI em diante o agregado deixa de ser essencialmente silicioso, passando a ser também calcário e a conter fragmentos de conchas (nos casos de estudo localizados junto ao mar) e de rochas metamórficas calcíticas. Nas amostras dos Açores é típica a combinação de cal aérea com agregado siltoso, basáltico/traquítico e ainda tufo vulcânico, que constitui uma pozolana natural.

Note-se, no entanto, que entre os séculos XII e XX, período longo e com potenciais elementos de estudo (como sejam os edifícios da época pombalina), existe alguma dificuldade em extrair padrões e tendências relativamente à composição das argamassas dado que existem muito poucos estudos realizados face à diversificação de técnicas utilizadas (Tabelas 2.3, 2.4 e 2.5). Desta forma, a complementação de informação dessas épocas constituirá um excelente contributo para uma melhor caracterização das argamassas antigas.

Tabela 2.3 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XII-XVII

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/*Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Catedral de Évora /XII-XIII/ Religioso / *5,6,7,8	SEV2, 4, 8: Revest. parede alvenaria de pedra	Degrad. estética superf.	Cal aérea calcít. e dolomít.: agreg. silic.	1:1,5; 1:2,5; 1:3,5	-	3,3; 3,5; 2,3	Ccc <sub>5</sub> = 0,3; 0,3; 0,3
	SEV6, 7: Juntas parede alvenaria de pedra		Cal aérea calcít.: agr. silic.	1:4; 1:3,5	-	-	-
Castelo de Amieira do Tejo (Nisa, Portalegre) /XIV/ Militar / *7,8,9,10	AAM02, AM2: Revest. construção de terra	Médio: erosão	Cal aérea: areia silic.	1:3	-/Sulfatos de sódio, de potássio, gesso, hidróxido de sódio	3,6	Ccc <sub>5</sub> =0,7
		Degrad. estética superf.	Cal aérea calcít. e dolomít.: agreg. silic.	1:1,5	-	3,6	Ccc <sub>5</sub> =0,71
Castelo de Viana do Alentejo (Évora) /XIV/ Militar / *9,10	AAM01	Médio: erosão, perda de coesão, pulveru- lência, destaca- mentos	-	-	-	2,4	Ccc <sub>5</sub> =1,36
Forte de Nossa Senhora da Luz (Cascais, Lisboa) /XV-XVI/ Militar / *8,11	NSL TJ1 (I e E), NSL TJ2, TJ3, TJ4: Revest. parede Torre Joanina	Degrad. estética superf.	Cal aérea calcítica em todas as argamassas de revestimento, dolomítica na de assentamento: areia siliciosa com vestígios basálticos e carvão	1:2	Silicatos de cálcio/-	-	Ccc <sub>5</sub> =3,83
				-		3,7	Ccc <sub>5</sub> =0,98
				1:2		1,5	Ccc <sub>5</sub> =5,84
				-		-	-
				-		-	-
	NSL BS5: Assent. parede interior Bastões Sul			1:2	1,4	Ccc <sub>5</sub> =2,73	
	NSL BN6, BN7: Revest. Bastões Norte			-	0,8	Ccc <sub>5</sub> =6,45	
	NSL MS8, MS9: Revest exterior Parede Sul			-	-	2,6	Ccc <sub>5</sub> =0,45
				1:2	-	2,1	Ccc <sub>5</sub> =3,15
	NSL MP10: Revest. exterior Parede Oeste			-	-	2,0	Ccc <sub>5</sub> =1,92
				-	-	2,9	Ccc <sub>5</sub> =1,26

## 2. Argamassas de cal antigas

Tabela 2.3 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XII-XVII (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/*Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Forte de São Julião da Barra (Oeiras, Lisboa) /XVI/ Militar / *9,10,12	FSJB	Médio: fendas superf., coloniz. biológica , sujidade e erosão	Cal aérea: areia siliciosa	-	Carbo- aluminatos de cálcio hidratados/ halite, cloro- aluminatos de cálcio, gesso	2,3	Ccc <sub>5</sub> =1,41
Forte do Bugio (Oeiras, Lisboa) /XVI/ Militar / *9,10,12	BSM	Alto: erosão, perda de coesão, pulveru- lência, destaca- mentos	Cal aérea com possível adição de gesso e areia de natureza siliciosa	-	Aluminatos de cálcio hidrat., óxidos de ferro, vaterite, aragonite/ brucite, etringite, gesso, halite, cloro- aluminatos de cálcio hidrat., monossulfo- aluminatos de cálcio hidrat.	1,8	Ccc <sub>5</sub> =1,17
	BIM			-	Carbo- aluminatos de cálcio hidrat./ etringite, gesso, halite, cloro- aluminatos de cálcio hidrat.	1,1	Ccc <sub>5</sub> =4,17
Catedral de Elvas (Portalegre) /XVI/ Religioso / *9,10,5,7,8	AAM04: Revest. interior	Degrad. estética superf.	Cal aérea calcít.: agr. silic. e calcários	1:3,5	Aragonite/ halite	5,9	Ccc <sub>5</sub> =0,65
	SEL 1, SEL 5: Revest. parede alvenaria de pedra		Cal aérea calcít.: agr. silic. e calcários	1:2,5; 4,5	-	2,0 e 3,0	Ccc <sub>5</sub> =1,0 e 0,4
	SEL 6: Juntas parede alvenaria de pedra		Cal aérea calcít.: agr. silic. e calcários	1:1,5	-	3,1	Ccc <sub>5</sub> =0,4

Tabela 2.3 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XII-XVII (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/*Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Capela do Castelo de Amieira do Tejo (Nisa, Portalegre) /XVI/ Militar / *9,10,7,8	ATe: Revest. ext.	Alto: manchas humidade , eflores- cências, perda de coesão e adesão, sujidade	Cal aérea calcítica: agregados siliciosos	-	-	1,2	Ccc <sub>5</sub> =0,98
	ATi: Revest. int.			-	-	2,4	Ccc <sub>5</sub> =1,23
	AM3: Revest. ext. parede alvenaria de pedra	Degrad. estética superf.		1:5,5	-	2,4	Ccc <sub>5</sub> =1,2
Igreja Matriz de Viana do Alentejo (Évora) /XVI/ Religioso / *9,10	MAT1B, MAT3B: Revest.	-	-	-	-	2,5	Ccc <sub>5</sub> =1,0
		-		-	-	1,6	Ccc <sub>5</sub> =0,8
Igreja da Misericórdia de Viana do Alentejo (Évora) /XVI/ Religioso / *9,10	MIS1, MIS3A: Revest. interior	Alto: perda de coesão e adesão, manchas humidade , eflores- cências	-	-	-	0,9	Ccc <sub>5</sub> =1,0
				-	-	0,8	Ccc <sub>5</sub> =2,6
Edifícios do Centro Histórico de Palmela (Setúbal) /XVI/ Palácio- Residencial / *8	PAL 1: Revest. parede alvenaria de pedra e mista	Degrad. estética superf.	Cal aérea calcít.: areia siliciosa e argila	1:12	-	1,2	Ccc <sub>5</sub> =1,2
Sé Nova de Coimbra /XVI/ Religioso / *13	CJ1, CJ2, CJ (Casa paroquial): Revest. ext. (fingidos de pedra)	-	Cal aérea dolomítica: areia siliciosa	1:2	-	-	Ccc <sub>10-90</sub> =1,21
					-	13,4	-
1:1	-	2,2		Ccc <sub>5</sub> =1,23			
Casa de Sub- Ripas/ Sub-Ribas (Coimbra)/XVI/ Palácio- Residencial / *13	CS/Reb1, 2: Revest. exterior (fingidos de pedra)	-		1:7	-	-	-
				1:3	-	2,2	Ccc <sub>5</sub> =1,34

Tabela 2.3 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XII-XVII (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/*Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Forte de São Brás (Ponta Delgada, Açores)/XVI/Militar/*24	SM3-SM8: Revest. exterior	Baixo- Médio	Cal aérea: agreg. silteoso, basáltico/traquítico e/ou tufo vulcânico (exceto SM7 -areia de praia e tufo vulcânico)	-	Alumino- silicatos de cálcio/Halite, gesso, anidrite	2,6 (SM7)	Ccc= 0,14-3,74
Igreja Matriz de Safara (Moura, Beja)/XVI?/ Religioso/*24	SF1: Reboco Interior	Alto	Cal aérea: agreg. silicioso com frag. cer. e minerais argil.	-	-/Anidrite, gesso	-	-
Igreja da Misericórdia (Aveiro) /Final XVI/ Palácio- Residencial / *14	IM1: Assent. azulejos	-	Cal aérea: agregados siliciosos	-	-	0,48	Ccc <sub>5</sub> =0,30
	IM2: Revest.	-		-	-	1,38	Ccc <sub>5</sub> =1,06
	IM4: Juntas	-		-	-	-	Ccc <sub>5</sub> =1,25
Convento de Santa Cruz (Coimbra)/ XVII/ Religioso/*24	CSC1, CSC2: Reboco, Junta	Baixo	Cal aérea calcética (CSC1) e dolomítica (CSC2): agreg. siliciosos com frag. cerâmicos e minerais argilosos	-	-/Anidrite	1,4	Ccc=0,55
				-		3,3	Ccc=0,19



Tabela 2.3 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XII-XVII (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/*Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Forte dos Oitavos (Cascais, Lisboa) /XVII/ Militar / *9,15	OIT	Elevado: erosão, perda de coesão, manchas humida- de eflores- cências, criptoflo- rescên- cias	-	-	-	0,5	Ccc <sub>5</sub> =0,21
Casa Seixal (Aveiro) /XVII/ Palácio- Residencial / *14	CS2, CS3: Revest., Juntas	-	-	-	-	1,56	Ccc <sub>5</sub> =0,53
				-	-	1,34	Ccc <sub>5</sub> =0,59
Forte de Santa Marta (Cascais, Lisboa) /XVII/ Militar / *15,9,10,8,16,17	SM1, SM2: Revest. parede int. e exterior fachada sudoeste	Sem sinais de degrad.	Cal aérea calcética: agreg. silic. e fragmentos de rochas calcéticas	1:1,5	Calcite recristalizada / halite, etringite, alumino- silicatos de cálcio	-	Ccc <sub>5</sub> =0,42
				1:1,8	hidratado, fosfato de cálcio (coloniz. biológ.)	-	Ccc <sub>5</sub> =0,63
	FSM AM01: Revest.	Baixo: manchas, perda de coesão		-	-	2,4	Ccc <sub>5</sub> =0,74
	FSM AM02b: Revest.	Alto: erosão, perda de coesão, pulveru- lência, destac.		-	-	1,3	Ccc <sub>5</sub> =0,88
	FSM zona1: Revest.	Baixo: manchas, perda de coesão		-	-	3,6	Ccc <sub>5</sub> =0,44

## 2. Argamassas de cal antigas

Tabela 2.3 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XII-XVII (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/*Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degradação	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Igreja do Santíssimo Sacramento (Alcântara, Lisboa) /XVII/ Religioso / *18,8 (cont.)	14 amost.: Revest. int. abóbada cúpula e paredes Oeste, Norte e Sul	Degrad. estética superf.	Cal aérea calcít.: agreg. siliciosos, basálticos e fragm.de conchas	-	Alumino- silicatos de cálcio/Halite, gesso	2,45- 3,20	Ccc <sub>5</sub> = 0,89-1,54
	SE12: Revest. alvenaria de pedra (ext.)			1:1,7	-	3,1	Ccc <sub>5</sub> =0,22
	S1: Revest. parede de alvenaria de pedra (int.)			1:?	-	2,4	Ccc <sub>5</sub> =0,11
Forte de São Bruno (Oeiras, Lisboa) /XVII/ Militar / *9,10,12,8	FSB: Revest. int. parede de alvenaria de pedra	Baixo: fendas superf., coloniz. biológica , sujidade	Cal aérea: areias siliciosas e calcárias	-	Vaterite, aragonite/ cloro- aluminatos de cálcio hidratado, etringite	7,1	Ccc <sub>5</sub> =0,18
Santa Casa da Inquisição de Monsaraz (Reguengos de Monsaraz, Évora) /XVII/ Religioso / *9,10	SCI AM06	Baixo: Erosão, pulveru- lência	-	-	-	2,5	Ccc <sub>5</sub> =1,70
Santuário de Nossa Senhora da Boa Nova (Alandroal, Évora) /XVII/ Religioso / *9,10	AAM03: Revest. campanário (Flor da Rosa)	Baixo: sujidade, coloniz. biológica	-	-	-	1,9	Ccc <sub>5</sub> =0,3

Notação utilizada: Ccc – coeficiente de capilaridade calculado na zona reta da curva de absorção; Ccc<sub>x</sub> – coeficiente de capilaridade por contacto aos x minutos; Referências utilizadas: \* 5-Adriano et al. 2007a e b, 6-Adriano et al.2009, 7-Silva et al.2010a, 8-Veiga 2012, 9-Magalhães et al.2006, 10-Magalhães et al. 2009, 11-Veiga et al. 2013, 12-Silva et al. 2011, 13-Santos et al.2014, 14-Coroado et al. 2010, 15-Magalhães et al. 2005, 16-Borges et al. 2013, 17-Borges et al. 2014, 18-Silva et al. 2010b, 24- Velosa 2006.

Tabela 2.4 – Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XVIII-XIX

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/ *Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degrad.	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Palácio de Maiorca (Figueira da Foz, Coimbra) /XVIII/ Palácio- Residencial / *9,10	PMAM04	Baixo: contam. salina	Cal aérea: areias siliciosas e calcárias	1:10	-/Halite coloniz. biológica, gesso	2,1	Ccc <sub>5</sub> =1,0
Aqueduto das Águas Livres (Lisboa) /XVIII/ Industrial- Serviços / *9,10	AAL	Baixo	Cal aérea: areias siliciosas e basálticas	-	Carbo- aluminatos de cálcio hidrat., aragonite, vaterite/ etringites, cloro- aluminatos de cálcio hidrat.	2,2	Ccc <sub>5</sub> =3,2
Forte de Nossa Senhora da Graça (Elvas, Portalegre) /XVIII/ Militar / *19	9 amostras: Revest. fortaleza, paióis, túnel entre fossos, cisterna e contra-escarpas; juntas fortaleza (2J)	-	Cal calcít. e dolom.: agr. xist, granít. e quartzít. (argila montmorilonítica amostra 12F).	1:3	Compostos neoform/-.	1,6	Ccc <sub>5</sub> =0,3
				1:10	-	-	Ccc <sub>5</sub> =2,9
				1:6	-	4,0	Ccc <sub>5</sub> =0,9
				1:2	Compostos neoform/-	-	-
				1:4	-	-	Ccc <sub>5</sub> =2,2
				1:2	-	-	Ccc <sub>5</sub> =5,5
				1:5	-	1,1	Ccc <sub>5</sub> =1,3
				1:6	-	1,1	Ccc <sub>5</sub> =1,6
Parede Pombalina (Lisboa) /XVIII-XIX/ Militar / *9,10	P7: Enchim.	-	Cal aérea: areia quartzítica	1:3	-	0,8	Ccc <sub>5</sub> =0,9
	P5: Revest. int.	-		-	-	1,0	Ccc <sub>5</sub> =1,3
Fortes das Linhas de Torres /XIX/ Militar / *8	Juntas e revest. paióis alvenaria de pedra	Degrad. estética superf.	Cal aérea calcít.: argila e agreg. siliciosos e calcários	1:1:5 a 15	-	-	Ccc <sub>5</sub> = 0,2 a 4,0

## 2. Argamassas de cal antigas

Tabela 2.4 - Caracterização de argamassas de casos de estudo dos séculos XVIII-XIX (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/ *Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degrad.	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Forte de Sacavém (Loures, Lisboa) /XIX/ Militar / *9,10	FSAM01 (1A)	Médio: manchas, coloniz. biológica , fendas superf.	Cal aérea: areia siliciosa	1:6	Alumino- silicatos de cálcio/-	1,2	Ccc <sub>5</sub> =0,70
	FSAM02 (1FT)			1:4		1,8	Ccc <sub>5</sub> =3,60
	FSAM07 (2FT)			1:5		3,0	Ccc <sub>5</sub> =1,90
Casa Maia Magalhães (Aveiro) /XIX/ Palácio- Residencial / *14	LMM2: Revest.	-	Cal aérea: agreg. siliciosos	-	-/Halite	1,28	Ccc <sub>5</sub> =0,11
Edifícios nº 22 a 24 Largo da Sé Velha (Coimbra) /XIX/ Palácio-Residencial / *13	LS/Reb1, LSReb2, LS/Reb3: Revest. exterior	Médio: perda de coesão	Cal aérea dolomít.: areia siliciosa	1:5	-	2,4	Ccc <sub>5</sub> =1,07
			Cal aérea calcít.: areia siliciosa	1:4	-	-	-
				1:1	-	-	-

Notação utilizada: Ccc<sub>5</sub> – coeficiente de capilaridade por contacto aos 5 minutos; Referências utilizadas: \* 8-Veiga 2012, 9-Magalhães et al.2006, 10-Magalhães et al. 2009, 13-Santos et al.2014, 14-Coroado et al. 2010, 19-Silva et al.2016.

Tabela 2.5 – Caracterização de argamassas de casos de estudo XIX-XX

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/*Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degrad.	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Edifícios nº 1 a 7 na Rua do Colégio Novo (Coimbra) /Final XIX/ Palácio- Residencial / *13	RCN/P04: Revest. ext.	-	Cal dolomítica: areia siliciosa	1:6	-	-	-
Edifícios em Taipa (Algarve Ocidental) /XIX-XX/ Palácio- Residencial / *20	15 amostras: Revest. ext. edifícios em taipa	Médio: desprendimentos lamelares , perda de aderência e fissuras	Cal aérea: argila e areia	-	-	0,7-3,1	Ccc <sub>5</sub> = 0,1-1,46

Tabela 2.5 - Caracterização de argamassas de casos de estudo XIX-XX (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/*Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degrad.	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Fundição (Ponta Delgada, Açores)/XIX- XX/Industrial /*24	SM1: Reboco exterior (fachada sul)	Médio	Cal aérea: agreg. siltoso, basáltico/traquítico e/ou tufo vulcânico	-	-/Halite, Anidrite	1,7	Ccc=0,82
Casa Rua Eng.º José Cordeiro, 93 (Ponta Delgada, Açores)/XIX- XX/Residencial/* 24	SM2: Reboco exterior	Alto		-	-/Halite	1,7	Ccc=0,24
Fábrica da Chicória (Ponta Delgada, Açores)/XIX- XX/Industrial/* 24	SM9, SM10: Junta na fachada sul, Reboco exterior	Médio/ Alto		-	-	-	-
Fundição de Ferro (Ponta Delgada, Açores)/XIX- XX/Industrial /*24	SM11, SM12: Reboco interior	Médio/ Alto		-	-/Halite	0,3; 0,6	Ccc= 2,42; 0,70
Rua das Águas Quentes, nº29 e 31, (Furnas, Açores)/XIX- XX/Industrial/* 24	SM13, SM14: Reboco exterior	Baixo, Médio		-	-/Halite (SM14)	1,8; 2,0	Ccc= 0,61; 0,38
Doca de Ponta Delgada (Açores)/XIX- XX/Serviços/* 24	SM15: Junta	Baixo	Cal aérea: agreg. siltoso, basáltico/traquítico e/ou tufo vulcânico	-	-	0,9	Ccc=0,09
Forte da Praia do Pópulo (Ponta Delgada, Açores)/XIX- XX/Militar/*24	SM16: Reboco exterior	Baixo		-	-	2,9	Ccc=0,13
Parede pátio de Edifício (Aveiro)/ XX/ Palácio- Residencial / *14	TM2, TM3: Juntas, Revest.	-	Cal aérea: agregados siliciosos	-	-/Halite	-; 2,04	Ccc <sub>s</sub> = 0,21; 0,18

Tabela 2.5 - Caracterização de argamassas de casos de estudo XIX-XX (cont.)

Caso de estudo/ Época/ Tipo de Edifício/*Ref. Bibliog.	Amostra, origem e função	Grau deterior.	Compos.	Traço massa	Produtos reação/ degrad.	Caract. física	
						Rc N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Edifícios em Palmela / XX/ Palácio- Residencial / *8	PAL 3: Revest. parede alvenaria de pedra e mista	Degrad. estética superf.	Cal aérea calcít.; areia siliciosa e argila	1:12	-	2,7	Ccc <sub>5</sub> =1,0
Casa Major Pessoa (Aveiro) /XX/ Palácio- Residencial / *14,21	MP5, MP9: Assent. azulejos, Revest.	-	Cal aérea: agregados siliciosos	-	-/Halite	1,82; 3,42	Ccc <sub>5</sub> =0,42; 0,49
Palácio Bensaúde (Lisboa) /XX/ Palácio- Residencial / *9	BS05-BS06	-	-	-	-	2,8	Ccc <sub>5</sub> =0,89
Fachada do edifício principal do LNEC (Alvalade, Lisboa) /XX/ Industrial-Serviços / *22,23	Revest. exterior marmorite, fachada Sul edifício principal	Médio: sujidade, coloniz. biológ., fiss., fend., perda de coesão e aderência , erosão	Marmorite: cal aérea, pó de pedra calcária e agreg. calcário.	1:1	-/Ligeira contam. sulfatos	-	Ccc <sub>5</sub> =0,48

Notação utilizada: Ccc – coeficiente de capilaridade calculado na zona reta da curva de absorção; Ccc<sub>5</sub> – coeficiente de capilaridade por contacto aos 5 minutos; Referências utilizadas: \* 8-Veiga 2012, 9-Magalhães et al.2006, 13-Santos et al.2014, 14-Coroado et al. 2010, 20-Mateus et al. 2014, 21-Velosa et al. 2006, 22-Veiga et al. 2007, 23-Tavares et al. 2008, 24- Velosa 2006.

Paralelamente aos factos relativos às épocas, constatou-se que as argamassas de edifícios do tipo militar apresentaram uma maior resistência e durabilidade, sendo as suas composições, no geral, mais ricas em ligante e constituídas essencialmente por cal aérea calcítica e agregado silicioso e calcário, por vezes com grãos basálticos e conchas. A preocupação com a introdução de grãos basálticos nas argamassas de edifícios do tipo militar revela conhecimento e técnica uma vez que estes desencadeiam reações pozolânicas que, embora provavelmente muito lentas, são responsáveis por conferir melhor comportamento mecânico às argamassas.

Da análise dos casos de estudo de edifícios militares junto à costa de Portugal Continental, foi possível concluir que as argamassas analisadas possuem como único ligante a cal aérea calcítica e apresentam compostos hidráulicos de neoformação resultantes de reações do ligante com agregados siliciosos alterados e basálticos. Tratam-se de argamassas muito compactas e resistentes, apesar dos cristais salinos também encontrados no seu seio. Amostras do Arquipélago dos Açores de edifícios deste tipo indicam utilização da combinação da cal aérea com agregados siltosos, basálticos e tufo vulcânico,

característicos da zona, e presença de compostos de reações de carbonatação e pozolânica, bem como presença de sais, típicos de ambiente marítimo (como a halite).

As argamassas dos edifícios religiosos apresentam composições com dosagens de ligante intermédias e apresentam também uma maior variedade no que diz respeito aos ligantes e agregados utilizados na sua formulação, claramente selecionados para fazer face às funções estéticas e decorativas. Relativamente aos edifícios do tipo palácio/residencial e industrial/serviços existem algumas lacunas relativamente à informação disponibilizada, sendo que um estudo complementar de amostras de argamassa desse tipo de edifícios (como por exemplo edifícios correntes da época pombalina, cuja construção é muito relevante no contexto nacional devido às características antissísmicas originais) constituirá um contributo importante a integrar o projeto DB-HERITAGE.

É ainda de salientar que argamassas dos edifícios do tipo palácio/residencial exibem no geral um traço mais fraco em ligante e por vezes incorporação de argila. Muito pouca informação surge acerca da caracterização de argamassas de assentamento de azulejos, técnica também tão característica do património histórico português. Tal como referido anteriormente, esta limitação de informação justificou o objetivo principal desta dissertação.





### 3. AZULEJOS

#### 3.1. Breve cronologia do azulejo em Portugal

Segundo alguns historiadores, a palavra azulejo deriva do termo árabe *azzelij* que significa “pequena pedra polida”, designação atribuída ao mosaico bizantino da região da Mesopotâmia, datando as mais antigas peças de há 5 mil anos a.C., encontradas em escavações no Egito. Dada a escassez da pedra e abundância de solo húmido na região, os povos babilónicos investiram nas técnicas cerâmicas, tendo fabricado tijolos com resistência e durabilidade e aperfeiçoado a técnica da vitrificação e a técnica de fabricação de azulejos com os quais revestiam as suas paredes de tijolo (CAVALCANTI, 1963, citado por WANDERLEY, 2006). Ao longo dos tempos, o conhecimento relativo à técnica do azulejo foi-se aprimorando e influenciando outros povos.

Com a conquista da Península Ibérica (a partir de 711 d.C.), os árabes levaram novos conhecimentos aos povos da Península sobre vários aspetos, inclusive os relativos à produção e uso do azulejo na decoração e revestimento de paredes. As primeiras aplicações de azulejo decorativo de que há registo na Península Ibérica datam dos séculos XIII-XIV, na Andaluzia. No século XV, Sevilha, Valência, Málaga e Toledo eram os principais centros produtores de azulejo na Península Ibérica (CORONA et al., 1989, citado por WANDERLEY, 2006; W1). Foi nesse período que se introduziu a azulejaria hispano-mourisca, com motivos mouriscos (como a estrela Islâmica) que se entrelaçam e repetem em esquemas geométricos radiais formando um padrão (Figura 3.1) (VALLADARES, 1982, citado por WANDERLEY, 2006).



Figura 3.1 – Composição com azulejos de motivos islâmicos (a) e materiais usados na técnica dos azulejos hispano-mouriscos (b) (exposição MNAZ)

Entre o final do séc. XV e início do séc. XVI, a azulejaria de Sevilha foi introduzida e amplamente utilizada em Portugal, durante o reinado de D. Manuel I (W1). Os azulejos desse período revelam inspiração gótica, com recorrência ao tratamento naturalista de elementos vegetais, sugestões arquitetónicas e efeitos dinâmicos. Foi na primeira metade do século XVI que se deu início à produção azulejar portuguesa (CAVALCANTI, 2002, citado por WANDERLEY, 2006; W1). Foi também nesse período que Francesco Niculoso introduziu em Sevilha a técnica da majólica, desenvolvida por ceramistas italianos e caracterizada pela cobertura do azulejo com um esmalte branco com pintura, sobre a superfície cerâmica lisa, de motivos sem a mistura de cores (Figura 3.2a). A pintura dos azulejos era inspirada em motivos da Antiguidade Clássica, aproximando-se a azulejaria à pintura. Com o desenvolvimento e implantação definitiva das técnicas da majólica por toda a Península Ibérica, abandonou-se a técnica mourisca (W1).

Em pleno século XVII, Lisboa era já o maior centro cerâmico nacional, com produção de painéis de azulejo de registo (retratando figuras religiosas e episódios religiosos) e de padrão (Figura 3.2b) feitos por artesãos (caracterizados pela ingenuidade formal e pelo desenho sumário). Na primeira metade, as cores usadas eram essencialmente o azul cobalto e amarelo sobre branco, mas na segunda metade, o Fim da Guerra da Restauração (1668), o reatar de relações políticas e comerciais com Espanha, França e Países Baixos e

### 3. Azulejos

consequente recuperação económica e financeira deram o impulso para a construção e renovação artística de palácios pertencentes à nobreza, acompanhada da utilização de uma paleta mais rica e variada de cores na pintura azulejar (W1). Nesse período houve ainda uma renovação temática na azulejaria, que passou a ser suporte de crítica social.

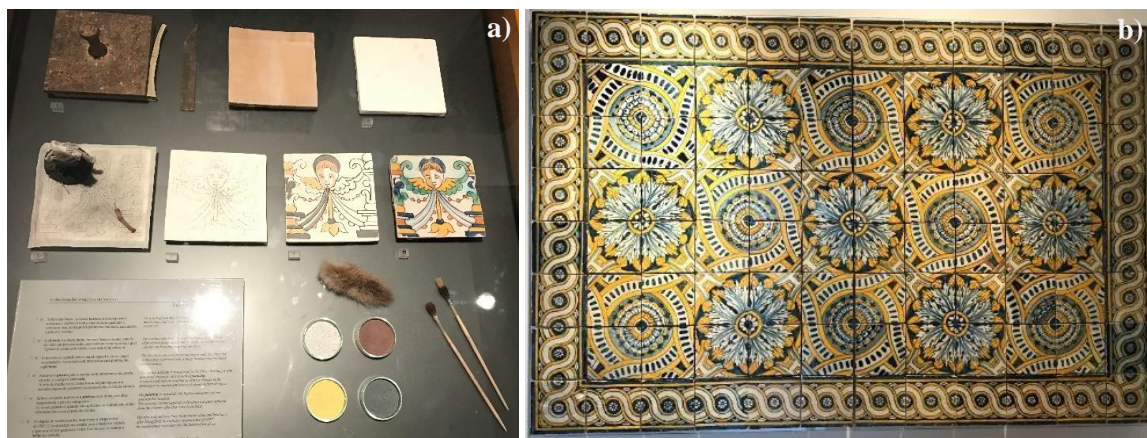


Figura 3.2 - Materiais usados e exemplo da técnica da majólica (a) e painel de azulejos de padrão do séc. XVII (b) (exposição MNAZ)

Com o período Barroco, foi dada maior importância à representação dos movimentos, à expressividade, dramatismo e complexidade e é nesse contexto que, em finais do século XVII, inícios do século XVIII, se começaram a importar painéis de azulejos holandeses historiados e de grandes escalas, predominando na sua composição a azulejaria figurativa e os tons de azul-cobalto e roxo-mangânês. Estas encomendas tiveram um grande impacto na produção portuguesa do século XVIII, que se desenvolveu e aperfeiçoou para fazer face à qualidade das importações e que viria a designar este período como Ciclo dos Mestres, de onde resultaram grandes obras de arte (SIMÕES, 1965, citado por WANDERLEY, 2006; W1).

Na segunda metade do século XVIII, em pleno reinado de D. José I (r.1750-1777), com o grande terramoto que destruiu Lisboa em 1755, desencadeou-se uma grave crise económica e social, com o afastamento de Lisboa de parte das pessoas mais influentes e própria família real, num momento em que urgia a necessidade de reconstrução da cidade. É precisamente nesse período pós-terramoto (1755-1780) que Sebastião José de Carvalho e Melo, vulgarmente conhecido por Marquês de Pombal, se encarrega de restituir a ordem e levar a cabo um elaborado plano de reconstrução da cidade. Em 1767, a Fábrica do Rato destacou-se pela fabricação em série de azulejos e paralelamente ao reerguer da cidade, recuperou-se totalmente a paleta de cores na pintura azulejar, ficando este período conhecido como “Regresso à Cor” (ALCÂNTARA, 1997, citado por WANDERLEY, 2006; W1). A azulejaria desta época ficou conhecida como azulejaria pombalina, caracterizada por painéis historiados, composições ornamentais, incremento da padronagem e inclusão progressiva do Rococó como meio de animar a arquitetura que, pela urgência da reedificação, se tornou essencialmente depurada e funcional (ALCÂNTARA, 1980, citado por WANDERLEY, 2006). Entre 1780 e 1808 desenrolou-se o período de D. Maria, marcado pelo Neoclassicismo que viria a substituir o Rococó (SIMÕES, 1965, citado por WANDERLEY, 2006; W1).

No século XIX, a utilização do azulejo estendeu-se às fachadas dos edifícios, ganhando uma dimensão urbana que rapidamente se tornou tendência não só pelo seu valor estético, mas também por evitar os custos das limpezas e pinturas que periodicamente eram exigidas às fachadas rebocadas (MIMOSO et al., 2011). Nessa época, o Romantismo e Revivalismo inspiraram os motivos dos azulejos e, para dar resposta à grande quantidade de encomendas, surgiram novas fábricas de produção azulejar em três núcleos: Lisboa, Porto e Aveiro. Na primeira metade do século XX várias foram as correntes estéticas, percorrendo-se o Historicismo, Nacionalismo, o Naturalismo, Arte Nova e Art Déco (W1). Foi prática corrente desse período o revestimento de paredes com azulejos industriais, como estações de caminhos-de-ferro, mercados, lojas ou

habitações. Na segunda metade do séc. XX o azulejo foi integrado em projetos de arquitetura e de urbanismo, ganhando uma dimensão moderna que se mantém até aos dias de hoje (W1).

### 3.2. Técnicas antigas de aplicação do azulejo

Nos diversos estudos relativos à caracterização de argamassas antigas é recorrente e nítida a lacuna existente na caracterização de argamassas de assentamento de azulejo e nas técnicas existentes para a sua aplicação. Na base desta lacuna possivelmente estará a dificuldade na recolha de quantidades significativas de amostras, especialmente por se encontrarem sob revestimento azulejar. Por outro lado, é comum em intervenções a revestimentos azulejares, especialmente quando realizadas por entidades não ligadas a ateliers de conservação e restauro, o desperdício da argamassa que se encontra aderida ao tardo, classificando-se esse material como entulho e não como um objeto valioso de estudo.

Segundo Durbin (DURBIN, 2005), entre o século XVII e século XVIII, na região da Grã-Bretanha, as argamassas de assentamento eram à base de cal ou gesso hemi-hidratado, com uma espessura entre 1 a 2 cm, e possuíam um teor de areia muito baixo, tendo maior propensão para a retração e fissuração. A técnica de aplicação consistia na prévia humidificação da base (alvenaria de tijolo ou pedra), aplicação da argamassa numa espessura aproximada de 1,5 cm e por fim aplicação do azulejo seco que era empurrado sobre a argamassa fresca. Em meados do século XIX, o início de um período de produção em série de azulejos teve impacto na qualidade e precisão não só na produção azulejar daquela região, mas também nas técnicas para a sua aplicação. Os fabricantes começaram a publicar recomendações sobre o método de fixação dos azulejos, que eram, no entanto, bastante vagas e que conduziam frequentemente a erros de execução. Quando o cimento Portland começou a ser produzido na região (1845), começou a ser utilizado paralelamente às argamassas de cal na produção das argamassas de assentamento, até que se lhes sobrepõe completamente no apogeu da sua consolidação no mercado (1880). Consta que entre 1870 e 1950, a técnica de aplicação de azulejos com argamassas de assentamento de cimento compreendia 3 fases: a primeira consistia na aplicação de pasta de cimento sobre o substrato; na segunda fase aplicava-se uma camada de argamassa, com espessura de aproximadamente 2,5 cm, ao traço 1:2 de cimento e areia com adições eventuais até 10% de cal; a terceira fase compreendia a aplicação da argamassa para fixação do azulejo.

Em Portugal, o cimento Portland só surge no final do século XIX e só se consolida no mercado na segunda metade do século XX, pelo que até esse período as argamassas de assentamento possuíam como ligante principal a cal aérea. Segundo Mariz Ferreira (2009), as proporções ligante:agregado variavam entre 1:1 e 1:4, dependendo sobretudo do tipo de ligante (cal aérea, cal hidráulica ou cimento Portland), dos objetivos dessa argamassa e das solicitações esperadas. A seleção do tipo de argamassa e das proporções de matérias primas aquando a sua formulação tem uma preponderância decisiva no desempenho global do azulejo e do suporte em que se insere, o que potencia a relevância do estudo da composição e características deste tipo de argamassas. Mariz Ferreira cita várias formulações usadas no passado para argamassas de assentamento, entre elas as publicadas pela Direção-Geral de Engenharia, de 1877:

*«Base 194. Argamassa ordinária de cal com areia: 1 de cal em pó: 1 areia de rio fina (lavada e seca) + 500 litros de água (...)*

*Base 197. Argamassa ordinária de cal com areia grossa: proporção de 2:3 respetivamente de cal em pó, de areia de rio (lavada e seca) e 350 litros de água (...)*» (AGUIAR, 2001, citado por MARIZ FERREIRA, 2009, traduzido do espanhol).

Cita também algumas técnicas usadas para o assentamento de azulejos no interior dos edifícios:

*«(...) inicia-se por fixar as régua na parede (...), estas devem ficar bem verticais e sem arqueamentos (...). As régua desempenham neste trabalho um papel de mestras (...). Com um barrote de madeira, com divisões, vai-se verificando a posição das fiadas de azulejos assentes a partir da zona inferior. Terminado esse assentamento, retiram-se as régua e assentam-se os azulejos adjacentes»* (LEITÃO, 1896, citado por MARIZ FERREIRA, 2009, traduzido do espanhol).

1. «A parede não é preenchida de argamassa nem rebocada, permanece tosca;
2. Assentamento das mestras nas paredes para que sirvam de guia ao azulejo. As régua colocam-se verticalmente, nos extremos das paredes, seguras com argamassa, ficando as guias ao mesmo nível da superfície exterior do azulejo (limpo). Se a parede a preencher for muito extensa, é necessário colocar mestras intermédias com um cordel auxiliar estirado;
3. A argamassa a utilizar é de cal aérea, podendo no início do século XX adicionar-se um pouco de cimento Portland para torná-la mais aderente;
4. Nas guias verticais deve-se marcar o lugar das juntas com lápis, em especial no azulejo de segunda qualidade, por apresentar várias vezes oscilações nas suas dimensões;
5. Seleção dos azulejos pelas suas dimensões. Rejeição dos elementos arqueados, pois proporcionam um mau assentamento;
6. Molham-se os azulejos antes de os assentar, passando diretamente da água para a parede. «A necessidade de molhar os azulejos, antes de os empregar, é motivada pela sua porosidade que lhes permite absorver entre 15 a 25% do seu peso em água. Se os poros não forem obstruídos através de molhagem parcial antes de assentar os azulejos, estes absorvem a água da argamassa, secando-a e impedindo a sua cura. (...). Deve, não obstante, evitar-se que os azulejos se empapem de água até à saturação, porque dessa forma deslizam e não aderem à argamassa.» (Revista A Construção Moderna, citado por MARIZ FERREIRA, 2009, traduzido do espanhol);
7. Colocação de uma porção de argamassa com colher de pedreiro no tardo do azulejo;
8. Aplicação na parede, pressionando o azulejo contra o suporte para fazer refluir a argamassa. O assentamento normalmente inicia-se de baixo para cima e da direita para a esquerda, quando não é necessário começar do centro para os cantos;
9. Normalmente o ladrilhador bate com o cabo da colher de pedreiro para que o azulejo se fixe à argamassa;
10. Verificação da posição do azulejo em relação às régua e;
11. Antes de se colocar o azulejo seguinte aplica-se uma porção de argamassa no suporte, tendo-se o cuidado de retirar com a ponta da colher de pedreiro um pouco dessa argamassa para que quando se coloque o azulejo seguinte a argamassa possa para aí refluir» (SEGURADO, 1908 citado por MARIZ FERREIRA, 2009, traduzido do espanhol).

Aguiar et al. (1996) faz também referência ao processo de produção de argamassa para assentamento de azulejos descrito pelo Arq. Latino Tavares:

«Era utilizada a Cal a Mato (...) Vinha na forma de pedra, essa pedra era regada e desfazia-se em pó. Essa pasta era amassada com areia, sem água, apenas com a humidade da própria areia. A areia era vermelha, aquela que tem goma, que se aperta na mão e não se desfaz. O traço usado era de 1:2 a 1:4. Fabricava-se a argamassa sob telheiro para evitar que ela ficasse "afogada", pois com o tempo chuvoso ela receberia mais água do que a necessária. Fazia-se um estrado de madeira, o "amassadeiro", onde se deitava a cal. Ia-se juntando areia por pequenas porções, afim de tornar bem homogênea a argamassa e ia-se revolvendo com a enxada. Misturava-se no dia anterior à sua aplicação. No dia seguinte era regada e voltava a ser amassada. A massa bem feita era amassada com o "suor da testa", isto é, à mão com a enxada. Aguentava 15 dias, quanto mais tempo passava melhor a mistura se dava, melhor se dissolvia a pedra de cal, pois acabava por queimar toda a cal. Ficava todo o tempo no chão. A consistência da argamassa deve ser tal que moldando uma bola de sete cm de diâmetro, ela se possa manter sem se deformar exageradamente. Deve aderir energicamente aos materiais e ligar de modo a formar um todo sólido e resistente, diz-se então que "faz boa pega". Reconhece-se que a argamassa foi bem fabricada se ao



*"enxambrar" não deixa distinguir nenhum dos seus elementos, senão tiver sido bem amassada, distinguem-se nuns pontos pedra de cal e noutros aglomerados de areia» (AGUIAR et al., 1996).*

Para além dos testemunhos relativos à composição das argamassas tradicionais para o assentamento de azulejos recolhidos da literatura, Ferreira (2009) refere, segundo uma ótica mais atual de conservação e restauro, que as argamassas de reassentamento de azulejos mais largamente utilizadas são à base de cal aérea hidratada e areia de rio, de granulometria fina a média, ao traço volumétrico de 1:2 a 1:4. Após uma boa mistura de ligante e agregado, adiciona-se uma quantidade muito reduzida de água até se obter uma argamassa compacta e homogénea, com especial atenção para a não utilização de água em excesso que, como é bem sabido, conduz ao aumento da retração e porosidade do revestimento. Segue-se a limpeza do suporte, através da remoção de sujidades, matérias soltas, matéria orgânica, argamassas degradadas ou incompatíveis, bem como o ligeiro humedecimento da parede. A planeza e a rugosidade do suporte também são critérios a ponderar antes da aplicação/reaplicação dos azulejos, permitindo averiguar se há ou não necessidade de executar camada de regularização. A etapa derradeira, que compreende a aplicação/reaplicação dos azulejos, caso se destine a uma aplicação no exterior, deve realizar-se em condições climáticas favoráveis (tempo ameno em termos de temperatura e de humidade, evitando-se períodos de vento forte ou chuva). Antes de aplicados, os azulejos são tradicionalmente saturados por imersão durante pelo menos 24 horas, assegurando além de uma boa aderência a colagem do azulejo já num estado de expansão, garantindo que não vão ocorrer dilatações posteriores nem a subsequente geração de tensões perigosas para a integridade do revestimento (MIMOSO et al., 2011). A argamassa é aplicada sobre o suporte com uma espessura sensivelmente de 2cm, aplicando-se em seguida o azulejo e exercendo-se-lhe uma ligeira pressão, para deste modo obrigar à uniformização da camada de assentamento e a uma melhor ligação desta com o tardo (Figura 3.3).



Figura 3.3 – Limpeza e humedecimento do suporte (a), mistura dos componentes da argamassa de cal aérea até adquirirem um aspecto compacto e homogéneo (b e c) e reassentamento dos azulejos com argamassa de substituição (d) (FERREIRA, 2009).

Com base nas técnicas e formulações de argamassas de assentamento de azulejos descritas na literatura, é possível ter uma noção básica da técnica a empregar na formulação de argamassas de substituição para intervenções de reassentamento de azulejos, não sendo, no entanto, suficiente, pelo que se deve complementar essa informação bibliográfica com ensaios de caracterização a amostras de argamassa de assentamento de azulejos antigas para o correto planeamento da intervenção de conservação.

### 3.3. Estudos de caracterização de argamassas de assentamento de azulejo

Dada a referida falta de informação relativa à caracterização de argamassas de assentamento de azulejo, a maioria dos profissionais que intervêm neste tipo de revestimentos tem por base as poucas referências que constam na literatura e acabam por seguir os padrões habituais, num registo profissional em que o dia-a-dia passa pelo diagnóstico, proposta, intervenção e relatório final. Para resolver questões pontuais, acabam muitas vezes por se fazer analogias com outras áreas de intervenção ou por recorrer a essas publicações e estudos, sendo estes adequados ou não à situação em questão (MENDES, 2015).

Num contexto em que o património azulejar se tem tornado cada vez mais um foco de conservação e preservação e visto que as argamassas de assentamento desempenham um papel fundamental no comportamento e durabilidade deste tipo de revestimento, têm surgido algumas investigações, especialmente dissertações de mestrado e doutoramento, que valorizam a caracterização destas argamassas, ainda que de maneira breve comparativamente à importância dada aos azulejos propriamente ditos.

Botas et al. (2012 e 2014) e Russo et al. (2011) desenvolveram estudos relativos à formulação de novas argamassas de substituição. Neste tipo de estudos é atribuída maior importância ao comportamento da interface argamassa/azulejo por se tratar da parte do sistema com maior importância no mecanismo de aderência. É nessa interface que ocorrem os fenómenos responsáveis pela aderência, nomeadamente a penetração de água e matéria fina da argamassa no azulejo e ainda a carbonatação do ligante que promove a ligação entre azulejo e argamassa (BOTAS et al., 2012 e 2014).

No que diz respeito ao estudo das características físicas, mecânicas, químicas e mineralógicas de argamassas de assentamento de azulejos, destacam-se estudos realizados a edifícios da cidade de Ovar, em Aveiro (VELOSA et al., 2006; VALENTE e TEIXEIRA, 2008; FERREIRA, 2008 e 2009; COROADO, et al., 2010, JAPIASSÚ, 2011, ANDREJKOVIČOVÁ et al. 2012, JAPIASSÚ et al. e CARASEK, 2014), Santarém e Évora (MENDES, 2008) e também da cidade do Porto (MARIZ FERREIRA, 2009). Realizaram-se duas tabelas resumo das características apuradas nestes estudos: o primeiro (Tabela 3.1) relativo à identificação dos casos de estudo e o segundo (Tabela 3.2) relativo à apresentação dos resultados dos vários ensaios realizados, para ser possível estabelecer uma comparação prévia da composição das argamassas de assentamento de azulejo com base em alguns exemplos práticos da literatura.

A análise efetuada compreendeu essencialmente edifícios do tipo residencial e religioso, cujos azulejos se inserem temporalmente entre os séculos XVI e XX. De um modo geral, as argamassas apresentam ligante à base de cal aérea calcítica, salvo raras exceções no Porto e Santarém com ligante à base de cal aérea dolomítica. Os agregados utilizados são siliciosos, muitas vezes contendo minerais argilosos e por vezes fragmentos cerâmicos, sendo no geral indicados como agregados locais. A maior parte das amostras provêm de fachadas de edifícios e por isso têm origem exterior, mas quando comparadas com as poucas de origem interior não se verificam diferenças significativas, o que leva à suposição de que não era feita especial distinção na formulação e aplicação dos dois tipos. No entanto, essa seria uma condição interessante a investigar em estudos futuros. Os traços usados nas formulações dos casos recolhidos variam entre 1:1,8 e 1:13,4, em massa (traço médio de 1:4). Os valores de resistência à compressão variam entre 0,48 e 4,2 N/mm<sup>2</sup> (valor médio de 1,67±0,08 N/mm<sup>2</sup>) e o coeficiente de capilaridade por contacto, aos 5 min, entre 0,3 e 3,04 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>) (valor médio de 1,37 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)). No que diz respeito aos compostos presentes nas argamassas, destacam-se como produtos de reação os silicatos e silicoaluminatos de cálcio hidratado e arcanite (sulfato de potássio) e como compostos de degradação o gesso (sulfato de cálcio) e a halite (cloreto de sódio). Como justificação da presença de gesso, Mariz Ferreira (2009) refere algumas hipóteses, tendo em conta que a maioria das amostras consideradas no seu estudo provêm da fachada dos edifícios (origem exterior): migração do ião sulfato do interior do edifício; adição propositada para melhorar a trabalhabilidade da argamassa ou para diminuir o tempo de presa; reação de sulfatos atmosféricos com o cálcio da argamassa. A presença de halite é um indicador de ambiente de exposição salino (zona junto ao mar ou rio). Mariz Ferreira (2009), com base na comparação das alturas de colheita das amostras com respetivos compostos, denota que a presença de gesso está associada a cotas baixas dos edifícios enquanto que a halite está associada a cotas mais elevadas. Para além dos produtos de reação e degradação mencionados, registou-se também a presença de compostos como a anidrite (sulfato de cálcio), goetite (óxido de ferro) e portlandite. A anidrite foi apontada por Valente (2008) como um indício de poluição dos escapes de carros, através da reação dos sulfatos atmosféricos com a calcite solubilizada, visto estar presente apenas em amostras de fachadas de edifícios, mas poderá também ter sido introduzida na composição propositadamente. A goetite, detetada especialmente em argamassas de origem interior, por se tratar de um óxido de ferro funciona como um pigmento que, no caso de ter sido introduzido propositadamente, acabou por não se manifestar muito na coloração das argamassas. Por último e ainda que possa causar alguma

estranheza na análise de argamassas antigas de cal aérea, a identificação de portlandite foi efetuada em praticamente todos os estudos mencionados, tendo funcionado como um indício do processo de carbonatação da cal (ou endurecimento da cal, processo segundo o qual o hidróxido de cálcio –  $\text{Ca(OH)}_2$  - reage com o  $\text{CO}_2$  da atmosfera transformando-se em carbonato de cálcio –  $\text{CaCO}_3$ ) não ter sido consumado. Também a localização da argamassa sob o azulejo poderá ter tido contributo na dificuldade da penetração de  $\text{CO}_2$  no processo de carbonatação (FERREIRA, 2009). Note-se que a deteção de portlandite apenas foi considerada nos casos supramencionados por se tratarem de argamassas ensaiadas pouco depois da sua recolha, sendo de se desconsiderar em argamassas cujos ensaios se realizaram bastante tempo depois da recolha e que por isso terão carbonatado, entretanto.

### 3. Azulejos

Tabela 3.1 - Identificação dos casos de estudo de argamassas de assentamento recolhidos na literatura






















Caso de estudo/Época/Tipo de Edifício/*Ref. Bibliográfica	Registo Fotográfico	Amostra e origem	Coloração	Estado de conservação
Igreja da Misericórdia (Aveiro) /XVI/Religioso/*1	-	IM1: Construções tradicionais em adobe – Exterior?	-	-
Convento de S. Domingos em Montemor-o-Novo (Évora)/XVII/Religioso/*2		Mon-1: Interior	Beje	Muito Bom
		Mon-2: Interior	Beje	Muito Bom
Fachadas de edifícios de Ovar (Aveiro) /XIX/ Residencial/*3,4	  	Caso 1 (Rua Visconde de Ovar): Exterior	Acastanhada	-
	  	Caso 2 (Rua Dr. António Sobreira): Exterior	Amarelada	-
	  	Caso 3 (Rua Sobral): Exterior	Amarelada	-
	  	MO (Museu de Ovar): Exterior	Amarelo-claro	-
	  	CCB (Rua Camilo Castelo Branco): Exterior	Amarelada	-



Tabela 3.1 - Identificação dos casos de estudo de argamassas de assentamento recolhidos na literatura (cont.)

Caso de estudo/Época/Tipo de Edifício/*Ref. Bibliográfica	Registo Fotográfico	Amostra e origem	Coloração	Estado de conservação
Fachadas de edifícios de Ovar (Aveiro) /XIX/ Residencial/*3,4 (cont.)		JF (Rua Dr. José Falcão): Exterior	Amarelada	-
		DAS (Rua Dr. António Sobreira): Exterior	Amarelada	-
	-	VO (Rua Visconde de Ovar): Exterior	-	-
	-	DC (Rua Dr. Cunha): Exterior	-	-
	-	EG (Rua Elias Garcia): Exterior	-	-
Casa dos Vargos, Torres Novas (Santarém) /XIX-XX/Residencial(?)/*2		Var_III-1a: Interior	Beje	Razoável
		Var-III-2a: Interior	Beje	Razoável
		Var-IV-1a: Interior	Beje claro	Bom
		Var-IV-2a: Interior	Beje claro	Razoável
		Var-CH-a Interior	Alaranjada	Bom
Fachadas de edifícios em Ovar (Aveiro)/XIX-XX/Residencial/*5,6		RAH (Rua Alexandre Herculano): Exterior	Amarelo-claro com nódulos de cal	Bom
		RAH209: Exterior	Amarelo-claro com nódulos de cal	Bom

### 3. Azulejos

Tabela 3.1 - Identificação dos casos de estudo de argamassas de assentamento recolhidos na literatura (cont.)









Caso de estudo/Época/Tipo de Edifício/*Ref. Bibliográfica	Registo Fotográfico	Amostra e origem	Coloração	Estado de conserv.
Fachadas de edifícios em Ovar (Aveiro)/XIX-XX/Residencial/*5,6 (cont.)	 	RJF (Rua Dr. José Falcão): Exterior	Amarelo-claro	Razoável
	  	RMA (Rua Dr. Manuel Arala): Exterior	Avermelhada com nódulos de cal	Bom
	  	RVO (Rua Visconde de Ovar): Exterior	Avermelhada com nódulos de cal	Muito Bom
	-	PRU 1: Exterior	-	-
	-	PRU 2: Exterior	Amarelada	-
	-	PRU 3: Exterior	-	-
	-	PRU 4: Exterior	-	-
	-	PRU 5: Exterior	Amarelo claro	-
	-	PRU 6: Exterior	-	-
	-	PRU 7: Exterior	-	-
	-	PRU 8: Exterior	-	-
	-	PRU 9: Exterior	-	-
Edifícios da cidade do Porto/Início do séc. XX/Residencial/*7	-	1e: Exterior	Visível teor em ferro	Bom
	-	2e: Exterior		Bom
	-	3e: Exterior		Bom
	-	4e1: Exterior		Friável
	-	4e2: Interior		Bom
	-	5e1: Exterior		Bom

Tabela 3.1 - Identificação dos casos de estudo de argamassas de assentamento recolhidos na literatura (cont.)

Caso de estudo/Época/Tipo de Edifício/*Ref. Bibliográfica	Registo Fotográfico	Amostra e origem	Coloração	Estado de conserv.
Edifícios da cidade do Porto/Início do séc. XX/Residencial/*7 (cont.)	-	5e2: Exterior	(cont.)	Friável
	-	6e: Exterior		Bom
	-	7e: Exterior		Friável
	-	8e: Exterior		Bom
	-	9e: Exterior		Bom
	-	10e: Exterior		Bom
	-	11e1: Exterior		Bom
	-	12e1: Exterior		Bom
	-	13e: Exterior		Bom
	-	14e: Exterior		Friável
Casa Major Pessoa (Centro de Aveiro) /XX/Residencial/*1,8	-	MP5: Construções tradicionais em adobe – Interior	-	-

Notação Utilizada: (-) – Não identificado; (?) – Incerteza. Bibliografia: \*1 – Coroadó et al. (2010); \*2 – Mendes (2008) e Mendes et al. (2008); \*3 – Japiassú (2011), Japiassú et al. (2014) e Carasek et al. (2014); 4 – Teixeira (2008), Valente (2008) e Teixeira et al. (2008); 5 – Ferreira (2008) e Ferreira (2009); 6 – Andrejkovičová et al. (2012); 7 – Mariz Ferreira (2009); 8 - Velosa et al. (2006).

### 3. Azulejos

Tabela 3.2 - Caracterização das argamassas de assentamento dos casos de estudo da literatura

Caso de estudo/Época/Tipo de Edifício/*Ref. Bibliográfica	Amostra	Origem	Composição da argamassa	Traço ponderal Lig:Agr	Compostos presentes	Rc N/mm <sup>2</sup>	E <sub>dus</sub> N/mm <sup>2</sup>	Ccc <sub>5</sub> kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Igreja da Misericórdia (Centro de Aveiro) /XVI/Religioso/*1	IM1	Exterior?	Cal aérea calcítica: agreg. silic.	-	Goetite	0,48	-	0,30
Convento de S. Domingos, Montemor-o-Novo (Évora) /XVII/Religioso/*2	Mon-1	Interior	Cal aérea calcítica: agreg. silic.	1:3	-	-	-	-
	Mon-2			1:7	-	-	-	-
Fachada de edifícios de Ovar/XIX/Residencial/*3,4	Caso 1	Exterior	Cal aérea calcít.: agreg. silic. c/ argila. e frag. cerâmicos	1:2	Silicato de cálcio hid., portlandite rara	-	-	-
	Caso 2		Cal aérea calcít.: agreg. silic. c/ argila	1:2	Silicoaluminatos de cálcio hid., portlandite	-	-	-
	Caso 3		Cal aérea calcít.: agreg. silic. c/ argila. e frag. cerâmicos	1:3	Silicato de cálcio hidratado, portlandite rara	-	-	-
	MO	Exterior	Cal aérea calcítica: agreg. silic. c/ minerais argilosos	-	Halite, Anidrite (em EG), portlandite)	1,05 ±0,14	1250	-
	CCB					1,41 ±0,68	1593	-
	JF					1,67 ±0,04	1785	-
	DAS					1,42 ±0,38	1206	-
	VO					1,3 ±0,20	2338	-
	DC					1,37 ±0,12	1489	-
	EG					-	-	-
Casa dos Vargos, Torres Novas (Santarém) /XIX-XX/Residencial(?)/*2	Var_III-1a	Interior	Cal aérea calcítica (Var-CH dolomítica): agreg. siliciosos	1:10	Goetite/gesso (?)	-	-	-
	Var-III-2a			1:4	-	-	-	-
	Var-IV-1			1:4	Portlandite	-	-	-
	Var-IV-2a			1:7	-	-	-	-
	Var-CH-a			1:11	-	-	-	-

Tabela 3.2 - Caracterização das argamassas de assentamento dos casos de estudo da literatura (cont.)

Caso de estudo/Época/Tipo de Edifício/*Ref. Bibliográfica	Amostra	Ensaio Realizados	Composição da argamassa	Traço ponderal Lig:Agr	Compostos presentes	Rc N/mm <sup>2</sup>	E <sub>du</sub> N/mm <sup>2</sup>	Ccc <sub>5</sub> kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Fachadas de edifícios em Ovar/ XIX-XX/Residencial/*5,6	RAH	Exterior	Cal aérea calcítica: agreg. siliciosos c/ minerais argilosos	1:2	Portlandite	2,4	-	1,00
	RAH209			1:3		1,6	-	1,65
	RJF			1:4		1,2	-	3,04
	RMA			1:2		2,0	-	2,00
	RVO			1:3		4,2	-	1,17
	PRU1-PRU9	Exterior	Cal aérea calcítica: agreg. siliciosos c/ minerais argilosos	-	Halite (PRU2 e PRU5), Anidrite (PRU3 e PRU8)	0,99-2,91	-	-
Edifícios da cidade do Porto/Início do séc. XX/Residencial/*7	16 amostras	Exterior e Interior (4e2)	Cal aérea calcítica (5e1, 5e2 e 9e dolomítica): agregados siliciosos	1:4-1:13 (4e2 – 1:4)	Arcanite (1e, 4e1, 4e2, 5e1, 5e2), Gesso (2e, 4e1, 6e, 13e), Halite (5e2)	-	-	-
Casa Major Pessoa, Aveiro/XX/Residencial/*1,8	MP5	Interior	Cal aérea calcítica: agreg. siliciosos	-	Halite, goetite, anidrite	1,82	-	0,42

Notação Utilizada: (-) – Não identificado; (?) – Incerteza. Bibliografia: \*1 – Coroadó et al. (2010); \*2 – Mendes (2008) e Mendes et al. (2008); \*3 – Japiassú (2011), Japiassú et al. (2014) e Carasek et al. (2014); 4 – Teixeira (2008), Valente (2008) e Teixeira et al. (2008); 5 – Ferreira (2008) e Ferreira (2009); 6 – Andrejkovičová et al. (2012); 7 – Mariz Ferreira (2009); 8 - Velosa et al. (2006).

#### 3.4. Questões de compatibilidade e durabilidade das argamassas de assentamento de azulejo

A azulejaria portuguesa representa uma importante marca para o património cultural, não só a nível nacional, mas também mundial. Pelo seu elevado potencial turístico e, consequentemente, económico, tal como vários outros recursos portugueses, pode e deve ser melhor explorado. Mas para materializar esse potencial é necessário, numa primeira fase, preservar e cuidar deste património através da manutenção e monitorização constante. Tratando-se de um revestimento de grande valor, torna-se um alvo fácil de roubos e pilhagens, especialmente quando se encontra em revestimentos exteriores (como em fachadas de edifícios) ou em edifícios devolutos. Por outro lado, a comum falta de investigação, durante o planeamento da intervenção, no que concerne à compatibilidade e durabilidade dos tratamentos a utilizar nos azulejos e às argamassas de assentamento utilizadas na sua aplicação, torna difícil a tomada de decisão pelos profissionais envolvidos nas intervenções em azulejos, desencadeando muitas vezes ações incorretas e na maior parte dos casos danosas não só para os azulejos, mas também para o sistema completo em que estes se inserem.

Na maior parte das investigações a respeito, as anomalias são frequentemente atribuídas ao azulejo, desconsiderando-se o papel fundamental da argamassa no seu processo de degradação. Por se tratar de um sistema que funciona em conjunto, é importante ter em mente que a degradação de um elemento afeta a fachada como um todo, na grande maioria dos casos. Tal como qualquer outro revestimento, exige manutenção e na sua ausência desencadeiam-se anomalias (Figura 3.4).



Figura 3.4 - Comparação de dois edifícios no Bairro Alto: manchas e perdas de reboco devido a infiltrações e falta de proteção (a) e em fachada azulejada, o mesmo tipo de infiltrações provocou destacamento de azulejos (b) (MIMOSO et al., 2011).

Um dos exemplos comuns do impacto das argamassas de assentamento nas anomalias do revestimento azulejar é o desenvolvimento de vegetação na matriz da argamassa, fruto da combinação de humidade com eventuais sais e minerais argilosos, frequentemente encontrados na formulação deste tipo de argamassas. Essa vegetação desenvolve-se muitas vezes na argamassa criando uma pressão adicional na interface tardo/argamassa que culmina no destacamento dos azulejos (Figura 3.5a e b). Contudo, existem exceções à regra, como se verifica na Figura 3.5c onde o revestimento azulejar, apesar de à semelhança dos edifícios anteriores estar sujeito à humidade (do suporte, e de infiltração por juntas deficientes (MIMOSO et al. 2010)) e terem sido criadas as condições para o desenvolvimento de um abundante crescimento vegetal na fachada, fez face às solicitações desenvolvidas, o que em parte revela o impacto que argamassas de assentamento de boa qualidade têm num revestimento azulejar. Casos como este refletem a relevância do estudo deste tipo de argamassas e sua caracterização, especialmente num contexto de conservação e restauro.





Figura 3.5 - Pormenor de crescimento abundante de vegetação na fachada azulejada num edifício na Rua da Alegria (a), na Calçada do Cardenal (b) e na Rua da Atalaia (c), todos em Lisboa.

Uma das anomalias mais frequentes detetadas nos azulejos de fachada é a fissuração do vidrado, vulgarmente conhecida como *craquelê* (Figura 3.6a) e a sua causa é usualmente atribuída à incompatibilidade das expansibilidades térmicas dos diferentes materiais que constituem a chacota e o vidrado quando são postos em contacto. E se numa primeira fase, aquando a aquisição dos azulejos, estes não aparentam padecer desta anomalia, com o passar do tempo a aglomeração da sujidade nas fissuras revela-a. Para piorar o caso, no processo de montagem, uma absorção diferenciada de água, pelos dois materiais, origina uma expansão considerável do corpo cerâmico, agravada pelos consecutivos ciclos de molhagem/secagem que provocam um alargamento crescente e irreversível do corpo cerâmico. Como a expansão não é acompanhada pelo vidrado, a tensão a que fica sujeito provoca essa fissuração (MIMOSO et al., 2011) e, em casos mais extremos, provoca mesmo o destacamento do vidrado (Figura 3.6b e c).



Figura 3.6 - Azulejo com craquelê e destacamento de vidrado pelas arestas (Rua das Salgadeiras) (a) e destacamento do vidrado (Travessa das Mercês) (b e c), em Lisboa.

Mas mais graves do que as anomalias que advêm da má aplicação dos azulejos conjuntamente com a falta de manutenção dos edifícios, frequentemente associadas à ação da água (seja humidade ascensional, defeitos das juntas, infiltrações a partir de redes de águas ou esgotos ou penetrações pelas coberturas ou tubos de queda), são as anomalias que advêm de tentativas de conservação ou restauro totalmente desadequadas, resultando no agravamento do estado de conservação do revestimento e aceleração da sua degradação.

Conforme se referiu no capítulo 2.2 para o sentido amplo dos revestimentos de edifícios antigos, as argamassas de substituição devem respeitar princípios e requisitos básicos de forma a preservar, proteger e perpetuar as técnicas e os materiais inerentes às paredes antigas, funções que lhes competem por natureza. Assim, a argamassa nova deve ser eficiente, durável, mas sempre reversível, sem nunca comprometer ou

descurar a compatibilidade ao nível químico e físico com os materiais pré-existentis (CARTA DE CRACÓVIA, 2000). Quanto mais próximas da argamassa original forem as características da argamassa nova, mais eficaz será a concretização dos objetivos referidos (características como as referidas no capítulo 2.2). No entanto, nem sempre é possível determinar as características que as argamassas tinham originalmente.

Atualmente, existe uma gama variada de produtos (NP EN 12004:2007+A1:2014, IPQ), para além das tradicionais argamassas de assentamento, destinados à colagem dos azulejos ao suporte:

- cimentos-cola: com adjuvantes orgânicos e inorgânicos; de derivados celulósicos; de ligantes mistos orgânicos e inorgânicos; aluminosos com ligantes mistos; de dois componentes com resinas epóxicas;
- adesivos em dispersão aquosa: mistura de ligantes orgânicos (polímeros) em solução aquosa, cargas minerais e aditivos orgânicos;
- adesivos de resinas de reação: mistura de resinas sintéticas (resinas epóxicas), cargas minerais e aditivos orgânicos.

Mas precisamente para não serem comprometidos princípios básicos como o da compatibilidade, reversibilidade da intervenção ou a preservação da autenticidade, os produtos de colagem com base em produtos pré-doseados para ladrilhos correntes não são (ou não devem ser) aplicados na conservação de edifícios antigos. Desta forma, e de acordo com diversas investigações na área, as argamassas à base de cal aérea hidratada são as argamassas que mais se aproximam dos parâmetros considerados e que por isso mais se adequam às operações de substituição de argamassas antigas de fachadas ou para o reassentamento de azulejos recuperados. Fatores como o bom comportamento à água (níveis de porosidade superiores aos da parede que promovem a concentração da humidade no revestimento e não no suporte), boa permeabilidade ao vapor de água (facilitando a secagem e impedindo que o vapor de água fique retido na parede), lento endurecimento, maior deformabilidade e baixo módulo de elasticidade (que permitem acomodar e acompanhar as variações higrotérmicas do suporte sem desenvolvimento de tensões excessivas) estão na base do sucesso deste tipo de argamassas em revestimentos antigos, e mais concretamente no assentamento de azulejos (FERREIRA, 2009).

Esta adequabilidade e compatibilidade não são possíveis de cumprir quando se recorre, por falta de conhecimento e experiência, a argamassas à base de cimento em intervenções de edifícios antigos. No limite, e dependendo muito do caso em questão, admite-se em casos onde haja por exemplo um histórico de roubo de azulejos, normalmente em pisos acessíveis, o reforço do traço das argamassas ou a aplicação de argamassas bastardas (baseadas em cal aérea e hidráulica) ou argamassas de cal com aditivos pozolânicos, garantindo sempre uma resistência mecânica inferior à do azulejo e do suporte (MARIZ FERREIRA, 2009). Contrariamente às argamassas à base de cal aérea, as argamassas de cimento possuem baixa porosidade e permeabilidade ao vapor de água, características incompatíveis com os materiais porosos dos edifícios antigos. Assim, a água que naturalmente entrava e saía da edificação graças à elevada porosidade e permeabilidade das argamassas originais de cal, permanece no sistema por mais tempo (Figura 3.7).



Figura 3.7 – Argamassa de assentamento com base em cimento que resultou no decaimento do revestimento azulejar.



Essa humidade em contacto direto com o tardo, para além de provocar manchas bem visíveis nos azulejos (Figura 3.8a), migra para a chacota do azulejo, obrigando à sua expansão. O mau comportamento à água aliado à elevada rigidez da argamassa cimentícia comparativamente à do suporte antigo, impede-o de acomodar as tensões que vão surgindo ao longo da sua vida útil com consequente formação de fissuras, e abertura de focos de entrada de água. Após vários ciclos de expansão/retração do azulejo, desencadeia-se o seu descolamento, após ter transmitido esforços de compressão aos restantes (Figura 3.8b e c) que, muito provavelmente, também se destacarão pela sua instabilidade, deixando de exercer a função que outrora fora sua enquanto revestimento: proteger, acima de tudo, o suporte.



Figura 3.8 - Fachada azulejada com manchas decorrentes de excesso de humidade num edifício na Calçada do Cardeal (a) e instabilização de azulejos com formação de “barrigas” de destacamento na rua da Atalaia (b e c).

Por último, e não menos importante que as fontes de degradação já mencionadas, refira-se o efeito que advém da introdução de sais nos revestimentos azulejares. Quer sejam introduzidos pela própria argamassa cimentícia, pelo solo, pela poluição atmosférica, por exposição a ambientes salinos ou até mesmo pela proximidade da edificação antiga a materiais como dejetos animais, pesticidas ou produtos alimentares salgados (CAJADO, 2016), a sua permanência no interior da edificação com a combinação de um ambiente húmido desencadeia cristalizações e recristalizações no sistema completo (suporte, interface argamassa/azulejo e interface chacota/vidrado) com consequências extremamente danosas para o conjunto (Figura 3.9a). Quando os sais migram para o interior da edificação e cristalizam originam as denominadas criptoflorescências, atingindo a matriz porosa e capilar dos materiais estruturais, resultando na drástica redução da vida útil do edifício. Retomando a ideia referida no início deste capítulo, o que começa numa desadequada escolha de argamassa de assentamento, etapa desvalorizada em muitas intervenções, pode culminar numa fachada totalmente desprotegida e vulnerável aos agentes externos com a chacota dos azulejos e argamassa de assentamento visíveis, demonstrando uma vez mais que o sistema funciona como um todo (Figura 3.9b).



Figura 3.9 - Degradação em estado avançado de revestimento azulejar devido à presença de sais (a) e edifício no Ribatejo onde é notória degradação total da fachada azulejada devido à falta de intervenção atempada (b) (MIMOSO et al., 2011).



## 4. AMOSTRAGEM E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

### 4.1. Considerações gerais

A campanha experimental realizada no presente estudo envolveu 40 amostras de argamassa de assentamento de azulejos, de Lisboa (19 amostras) e Coimbra (21 amostras), dos séculos XVI a XIX, disponibilizadas pelo Museu Nacional do Azulejo. Cada amostra reunia um ou mais provetes de argamassa, provenientes do mesmo azulejo/painel, que foram removidos, com recurso a martelo e escopro, do tardo dos azulejos, durante intervenções de recolha e restauro de azulejos executadas pelo próprio museu.

Neste capítulo é descrito o processo inicial de inventariação e categorização das amostras e provetes, bem como todos os procedimentos experimentais a que foram sujeitas, a nível físico-mecânico e químico-mineralógico.

Nos anexos são apresentadas as fichas de estudo de cada amostra em análise, onde se encontram reunidas todas as informações apuradas relativamente ao seu contexto histórico, bem como os resultados da caracterização decorrente da campanha experimental realizada.

### 4.2. Inventariação e categorização das amostras

Dada a diversidade de amostras existentes, foi necessária a sua inventariação e categorização antes da realização de qualquer um dos ensaios. Para esta avaliação foi considerado como parâmetro decisivo a dimensão do provete: provetes visivelmente de maiores dimensões foram considerados aptos para a realização de ensaios tanto do âmbito físico-mecânico como químico-mineralógico, enquanto provetes com dimensões intermédias e menores dimensões (pequenos fragmentos e pós) foram considerados aptos apenas para ensaios químico-mineralógicos.

A ordem de trabalhos seguida consistiu na realização, numa primeira fase, dos ensaios físicos e mecânicos e, numa segunda fase, dos ensaios químicos e mineralógicos. Desta forma, a campanha experimental iniciou-se com a preparação dos provetes para a primeira fase de trabalhos e devido acondicionamento dos restantes até realização da segunda fase.

Para a categorização de provetes por ensaio foi seguida uma metodologia simples: provetes maiores, aparentemente mais coesos e mais regulares foram selecionados para resistência à compressão e módulo de elasticidade por ultrassons; provetes com dimensão ligeiramente inferior aos anteriores e com uma das faces mais plana foram selecionados para absorção de água por capilaridade; provetes menores foram selecionados para a porosidade aberta. Tal como referido, o restante conteúdo de cada amostra que não foi utilizado nesta fase, reservou-se e acondicionou-se para a segunda fase de ensaios. Considerou-se como medida de precaução não ensaiar química e mineralogicamente qualquer dos provetes anteriormente utilizados em ensaios físicos e/ou mecânicos para que os resultados não fossem condicionados.

Após inventariação e categorização dos provetes, foi realizada uma tabela identificativa de todos os casos de estudo em análise, organizados por ordem cronológica (Tabela 4.1). Na primeira coluna é apresentada a localização, época da amostra e tipo de edifício de onde provém. A denominação atribuída a cada amostra está diretamente relacionada com as iniciais do local de onde provém. Note-se que as amostras com a denominação “MMC” são amostras que provêm de azulejos que se encontravam em inventário no Museu Nacional Machado Castro e que foram transferidas para o Museu Nacional do Azulejo, sendo todas elas de Coimbra. As seguintes colunas apresentam a designação atribuída à amostra, registo fotográfico, origem, coloração (com Atlas NCS e/ou visível), altura da colheita e, por último, estado de conservação do painel original/consistência da amostra antes dos ensaios (apenas indicada para as amostras com dimensões suficientes para a primeira fase de ensaios). Na falta de alguma informação, é colocado um ponto de interrogação. Note-se que apenas foi possível realizar uma identificação e caracterização mais completa nas amostras que apresentaram quantidade para tal (nomeadamente TAV1, TAV2, TAV3, TAV4, CAS, HA1, IMD e RL1).

#### 4. Amostragem e procedimentos de ensaio

Tabela 4.1 - Identificação das amostras em análise







Caso de Estudo/ Época / Tipo de Edifício	Amostra	Registo Fotográfico	Origem	Coloração	Altura da colheita	Estado Painel/ Consistência arg.
Escavações arqueológicas, Lisboa/XVI/?	ARQ1	-	?	-	Amostras enterradas	Bom/-
	ARQ2	-	?	-		Bom/-
	ARQ3	-	?	-		Bom/-
	ARQ4	-	?	-		Bom/-
Azulejos hispano-mouriscos/XVII/?	HM1	-	?	-	?	?/-
	HM2		?	-	?	?/-
Painel de azulejos, fabrico Lisboa/XVII/?	PL	-	?	-	?	?/-
Travessa André Valente, nº13, Lisboa/XVII-XVIII/Palacete	TAV1		Interior	S1020-Y20R/Amarelada	Piso térreo: Rodapé	Médio/Friável
	TAV2		Interior	S1020-Y30R/Amarelada	Piso térreo: Rodapé	Médio/Friável
	TAV3		Interior	S1020-Y20R e S1020-Y30R/Amarelada	Piso térreo: 1/2 altura	Bom/Friável
	TAV4		Interior	S1010-Y30R/Amarela-clara	Piso 1 - 1m/1.5m	Bom/Friável
Capela do Antigo Sanatório da Flamenga, Vialonga, Lisboa/XVII-XVIII/Religioso	CAS		Interior	S1010-Y30R/Amarela-clara	1.5m	Médio/Muito Friável

Tabela 4.1 - Identificação das amostras em análise (cont.)

Caso de Estudo/ Época / Tipo de Edifício	Amostra	Registo Fotográfico	Origem	Coloração	Altura da colheita	Estado Painei/ Consistência arg.
Hospital de Arroios, Lisboa/XVIII/Serviços-Religioso	HA1		Interior	S1010-Y30R/Amarela-clara	Piso 1 - 1m/1.5m	Bom/Friável
	HA2	-	Interior	-	-	Bom/Friável
	HA3	-	Interior	-	-	Bom/Friável
Convento da Igreja da Madre de Deus, Lisboa/XVIII/Religioso	IMD		Interior	S1010-Y30R/Amarela-clara	Área inferior do revest.	Mau/Friável
Painel "Monte Sião", Coimbra/XVIII/?	MMC1	-	?	-	?	?/-
Painel cod.A, Coimbra/XVIII/?	MMC2	-	?	-	?	?/-
Painel 4 paisagem, Coimbra/XVIII/?	MMC3	-	?	-	?	?/-
Painel "Apocalipse", Coimbra/XVIII/?	MMC4	-	?	-	?	?/-
	MMC5	-	?	-	?	?/-
	MMC6	-	?	-	?	?/-
	MMC7	-	?	-	?	?/-
	MMC8	-	?	-	?	?/-
Painel cod.3, Coimbra/XVIII/?	MMC9	-	?	-	?	?/-
Painel 3, Coimbra/XVIII/?	MMC10	-	?	-	?	?/-
Regimento dos Lanceiros, Ajuda-Belém, Lisboa/XVIII-XIX/Palacete	RL1		Interior	S1005-Y40R/Amarela-clara	1m	Muito bom/Boa
	RL2	-	Interior	-	-	Muito bom/-
Placa relevada de edifício na Calçada do Cardeal, Lisboa/XIX/Residencial	FR	-	Interior	Amarela-clara	1.5m	Muito bom/-
Painel "Triunfo da Religião", Coimbra/?/?	MMC11	-	?	-	?	?/-
	MMC12	-	?	-	?	?/-
	MMC13	-	?	-	?	?/-

#### 4. Amostragem e procedimentos de ensaio

Tabela 4.1 - Identificação das amostras em análise (cont.)

Caso de Estudo/ Época / Tipo de Edifício	Amostra	Registo Fotográfico	Origem	Coloração	Altura da colheita	Estado Painei/ Consistência arg.
Painei cod.F, Coimbra/?/?	MMC14	-	?	-	?	?/-
	MMC15	-	?	-	?	?/-
Painei "O homem da gaita de foles", Coimbra/?/?	MMC16	-	?	-	?	?/-
	MMC17	-	?	-	?	?/-
Painei cod.13, Coimbra/?/?	MMC18	-	?	-	?	?/-
	MMC19	-	?	-	?	?/-
Painei, Coimbra/?/?	MMC20	-	?	-	?	?/-
Painei "Simbologia Mariana", Coimbra/?/?	MMC21	-	?	-	?	?/-

Notação utilizada: (?) Informação desconhecida; (-) – Não identificado.

### 4.3. Procedimentos experimentais

#### 4.3.1. Ensaio físicos e mecânicos e preparação geral das amostras

Na Tabela 4.2 apresenta-se a organização dos provetes por ensaios físicos e mecânicos. Importa referir que o ensaio do módulo de elasticidade por ultrassons apenas foi possível realizar no provete maior da amostra TAV4, que após esse ensaio foi dividido nos provetes TAV4-1 e TAV4-2 (Figura 4.1).

Tabela 4.2 - Organização dos ensaios físicos e mecânicos

Proвете	Absorção de água por capilaridade	Módulo de Elasticidade por ultrassons	Porosidade Aberta	Resistência à compressão
TAV1-1	X			
TAV1-2	X			
TAV1-3				X
TAV1-4			X	
TAV1-5			X	
TAV2-1	X			
TAV2-2			X	
TAV2-3			X	
TAV3-1	X			
TAV3-2	X			
TAV3-3	X			
TAV3-4			X	
TAV3-5			X	
TAV3-6			X	
TAV4-1	X	X		
TAV4-2				X
TAV4-3			X	
HA1-1	X			
HA1-2	X			
HA1-3				X
HA1-4			X	
HA1-5			X	
CAS-1	X			X
CAS-2			X	
RL1-1	X			
RL1-2				X
RL1-3			X	
RL1-4			X	
IMD-1	X			
IMD-2			X	



Figura 4.1 - Processo de divisão do provete maior da amostra TAV4 nos provetes TAV4-1 e TAV4-2.



Antes da realização de qualquer ensaio, cada provete foi alvo de uma limpeza prévia, com a ajuda de um pincel e de um bisturi, de forma a remover as partículas soltas e eventuais colonizações biológicas menos aderentes.

##### 4.3.1.1. Absorção de água por capilaridade e secagem

Para a realização do ensaio de absorção de água por capilaridade (ficha de ensaio Pa 40 do LNEC) foram seleccionados 12 provetes. Registou-se a área da face irregular, mas relativamente plana, que viria a contactar com a água, numa folha de papel, sobre a qual se colocou o provete para traçar o seu contorno. A área de cada figura foi obtida com recurso ao software de desenho assistido por computador AutoCAD. Os 12 provetes foram ensaiados em dois grupos de 6 provetes cada. Pesaram-se, com uma balança de precisão 0,01g, individualmente, 6 cestos de rede metálica com respetiva tela geotêxtil (como se tratam de provetes friáveis a utilização desta tela evita a perda de partículas finas solúveis em água), secos, e registaram-se as suas massas. Após essa pesagem, dispuseram-se num tabuleiro os 6 pedaços de tela geotêxtil, sob 2 tiras de vidro (138x29x15 mm) cada, onde posteriormente se assentaram os respetivos 6 cestos. Colocou-se água no tabuleiro, pouco acima do nível da face superior das tiras de vidro (lâmina de 1,5 cm), garantindo-se que as telas ficassem totalmente imersas. Esperou-se um mínimo de 24 horas para garantir a saturação das telas e em seguida efetuou-se a pesagem do conjunto cesto e tela húmida, registando-se esse valor. Optou-se por efetuar a pesagem dos provetes secos imediatamente antes do início do ensaio e não no dia anterior para garantir que não haveria alterações de um dia para o outro. Concluído este processo, deu-se início ao ensaio propriamente dito, em sala condicionada do LNEC/URPa, com  $T = 20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e  $\text{HR} = 65\% \pm 5\%$ . Colocaram-se os 6 conjuntos (cesto, tela húmida e provete) no tabuleiro com água sobre duas ripas de vidro, de forma a que a tela não descesse mais de 2 mm abaixo do nível da água e assim a imersão do provete em água se pudesse considerar desprezável, e manteve-se essa posição durante todo o ensaio (sempre que necessário, adicionou-se água para manter o nível da água adequado). Note-se que a face que ficou voltada para baixo (em contacto com o geotêxtil) foi sempre a face de superfície plana que contactava com o azulejo antes da sua remoção. Para cada pesagem, pegou-se cuidadosamente no cesto com a tela e provete húmido, sacudiu-se 5 vezes o conjunto com a mesma intensidade, pousou-se num pano húmido sobre a bancada para tirar o excesso de água da base do cesto e colocou-se na balança (Figura 4.2). As medições iniciais foram realizadas de minuto a minuto até aos 10 minutos; entre os 10 e os 40 minutos foram realizadas de 5 em 5 minutos; em seguida foram realizadas aos 60, 90, 180, 300, 480 e 1440 minutos e daí em diante de 24h em 24h, até à saturação do provete.

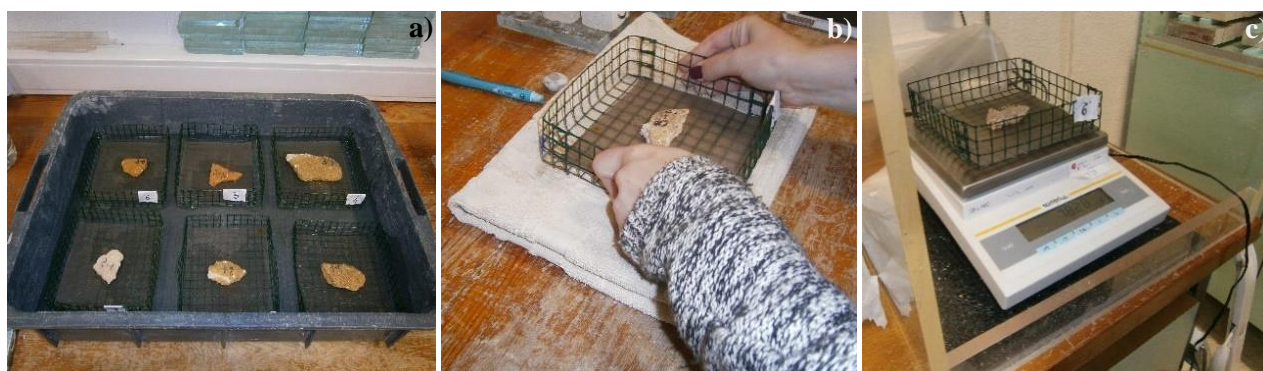


Figura 4.2 - Realização do ensaio de capilaridade

Do ensaio de absorção de água por capilaridade determinou-se o coeficiente de capilaridade por contacto ( $C_{cc}$  em  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ ). Este parâmetro expressa a velocidade de absorção de água inicial e é determinado através do declive da fase inicial da curva, com base numa regressão linear.

Estando os provetes saturados, iniciou-se o processo de secagem com a colocação de cada provete sobre duas tiras de vidro (Figura 4.3) com medições aos 30, 60, 90, 270, 450, 1440 minutos e posteriormente de 24 em 24h, até massa constante.



De um modo geral, o processo de secagem de provetes saturados com água compreende 3 fases distintas: a fase 1, caracterizada pelo transporte de água líquida para a superfície seguida da evaporação; a fase 2, caracterizada pela diminuição do transporte de água líquida e um aumento na difusão do vapor de água limitado pelas propriedades dos materiais; a última fase, quando se atinge o equilíbrio com o ambiente. Graficamente, segundo a EN 16322 (CEN, 2013), a fase 1 representa-se pela desabsorção da água ( $\text{kg/m}^2$ ) em função do tempo (min) e do declive da fase inicial da curva obtém-se a taxa de secagem da primeira fase (TS1). Segundo a mesma norma, a fase 2 é representada graficamente pela desadsorção da água ( $\text{kg/m}^2$ ) em função da raiz do tempo ( $\text{min}^{1/2}$ ), obtendo-se a taxa de secagem dessa fase (TS2) através do declive da fase intermédia da curva, com base numa regressão linear.

É de ressaltar que no ensaio de absorção de água por capilaridade, a área de absorção considerada foi apenas a que contactou com a lâmina de água, mas no caso da secagem a área considerada foi o dobro da utilizada no ensaio de absorção, uma vez que o provete se encontrava sobrelevado pelas tiras de vidro realizando-se a sua secagem principalmente pelas faces superior e inferior, e desprezando-se a secagem pelos bordos laterais dado que a espessura era pequena e se podia considerar compensada pelo bloqueio à secagem feito na área das tiras de vidro.

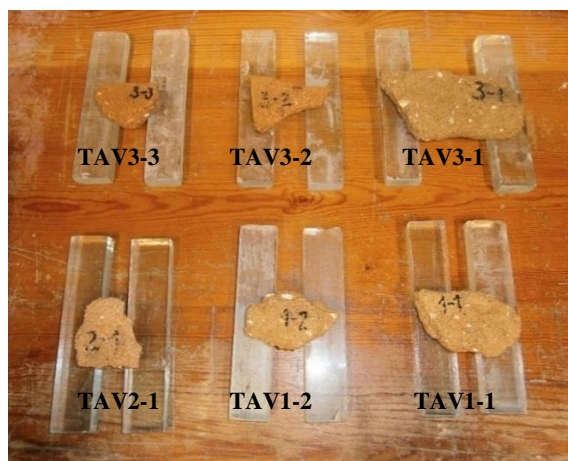


Figura 4.3 - Secagem dos provetes sujeitos ao ensaio da capilaridade

#### 4.3.1.2. Resistência à compressão

Para a realização do ensaio de resistência à compressão foram selecionados 5 provetes. Na sua seleção foram ponderados critérios como coesão, apresentação de faces relativamente regulares e dimensões suficientes para o ensaio (de forma a que, no mínimo, a sua base apresentasse a mesma ordem de grandeza dos semi-prismas usados nos ensaios normalizados (40mm x 40mm) e uma espessura não inferior a 20 mm). Para definir uma área regular de aplicação da carga e adaptar o provete aos “pratos” do aparelho de compressão usado nos ensaios de resistência à compressão preconizados na ficha de ensaio Pa 42 do LNEC, executou-se uma argamassa de confinamento de cimento, ao traço volumétrico 1:3 (CEM II, 32,5: areia). Para a sua aplicação em cada provete, procuraram-se inicialmente 2 faces laterais, o mais regulares e planas possível, para encostar uma ripa de madeira que viria a nivelar lateralmente a argamassa. Posteriormente aplicou-se, nas faces irregulares que viriam a ficar entre os “pratos”, um capeamento com a nova argamassa de cimento, tentando-se garantir ao máximo a horizontalidade dessas camadas e a perpendicularidade ao eixo da máquina de compressão (Figura 4.4). Na maior parte dos provetes só foi necessário capeamento numa das 2 superfícies horizontais por haver uma suficientemente plana. Quando necessário, aplanou-se a face lateral que viria a ser encostada aos pinos da máquina durante o ensaio. É de notar que houve preocupação em colocar a menor quantidade de argamassa de confinamento possível de forma a garantir uma maior aproximação a um ensaio exclusivamente da argamassa antiga. Terminado o processo de colocação de argamassa de confinamento, os provetes permaneceram na sala condicionada do LNEC/URPa, com  $T = 20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  e  $HR = 65\% \pm 5\%$ , em processo de cura durante 15 dias. Após este período, os provetes foram

#### 4. Amostragem e procedimentos de ensaio

ensaiados com recurso à prensa eletromecânica ETI HM-S do LNEC/URPa utilizando a célula de carga de 2 kN. O ensaio consiste na colocação do provete com a face lateral mais plana de encontro aos pinos, aplicando-se de seguida a carga sem choque (Figura 4.5). Sempre que necessário aplicou-se entre o prato superior e a superfície do provete uma peça metálica de 40 x 40 mm (dimensões idênticas ao prato da prensa) para complementar provetes de menores espessuras. Com recurso a um software ligado à máquina, são registados todos os valores relativos à evolução da força, tensão e deslocamento ao longo do tempo. Terminado o ensaio, procedeu-se à limpeza dos acessórios da máquina.

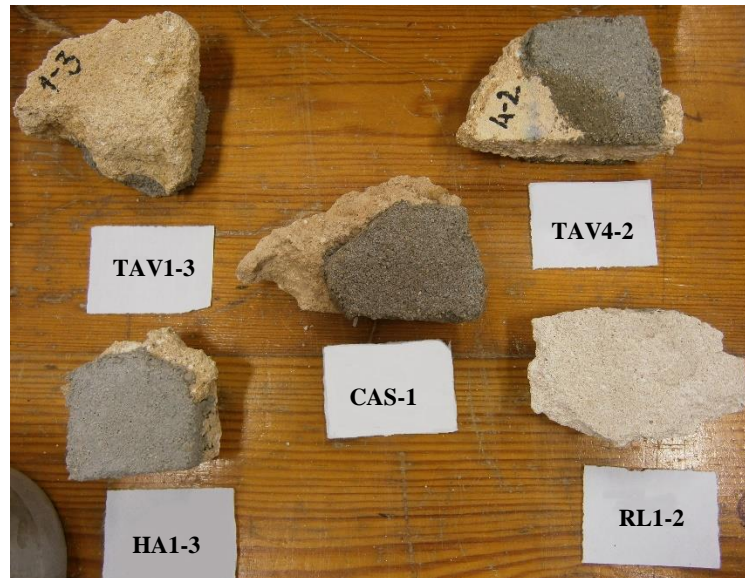


Figura 4.4 - Preparação do capeamento de regularização dos provetes para ensaio de compressão

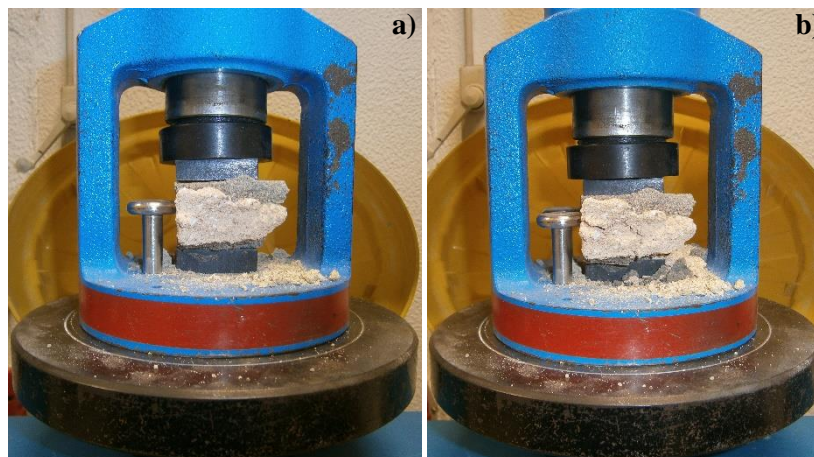


Figura 4.5 - Realização do ensaio de compressão: antes da aplicação da carga (a) e rotura do provete TAV 4-2 (b)

##### 4.3.1.3. Porosidade aberta e massa volúmica aparente e real

Para a realização do ensaio de porosidade aberta (ficha de ensaio Pa 44 do LNEC) selecionaram-se 14 provetes que foram inicialmente colocados em secagem numa estufa ventilada a  $40 \pm 5^\circ\text{C}$ , até massa constante. Posteriormente, os provetes foram colocados num exsicador com sílica até atingirem a temperatura ambiente. Os provetes secos foram pesados ( $m_d$  em g) com uma balança de precisão 0,01g e registaram-se esses valores. De seguida tornou a colocar-se os provetes no exsicador, agora ligado à bomba de vácuo, e baixou-se gradualmente a pressão até 40 kPa. A depressão foi mantida durante  $24 \pm 2$ h de modo a eliminar o ar contido nos poros abertos dos provetes. Após este período, iniciou-se a introdução de água destilada no exsicador, com um caudal gradual, que permitiu que os provetes ficassem totalmente imersos em tempo não inferior a 15 minutos (Figura 4.6a). A depressão foi mantida durante o processo e verificada no final. A temperatura da água destilada foi verificada e registada com um termómetro de mercúrio ( $23^\circ\text{C}$ ).

Os provetes ficaram imersos por  $24 \pm 2$  h. Findo este período, a bomba foi desligada e o exsiccador aberto. Após cerca de 30 minutos foi feita a pesagem hidrostática dos provetes (Figura 4.6b) e a determinação da sua massa enquanto imersos ( $m_h$  em g). Retirou-se o excesso de água com um pano húmido e determinou-se a massa dos provetes saturados ( $m_s$  em g).



Figura 4.6 - Realização do ensaio da porosidade aberta (a) pesagem hidrostática (b)

Para a determinação da porosidade aberta ( $P_{ab}$ ) efetuou-se a razão (sob a forma percentual) entre o volume de poros abertos e o volume aparente do provete, através da seguinte equação:

$$P_{ab} = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100 \quad (\text{equação 4.1})$$

A massa volúmica aparente (em  $\text{kg/m}^3$ ) obteve-se através da razão entre a massa do provete seco e o seu volume aparente, e seu produto pela massa específica da água ( $\rho_{rh}$  em  $\text{kg/m}^3$ ) que para  $23^\circ\text{C}$  corresponde a  $997,57 \text{ kg/m}^3$ , através da seguinte equação:

$$\rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} \times \rho_{rh} \quad (\text{equação 4.2})$$

Por fim, a massa volúmica real (em  $\text{kg/m}^3$ ) foi obtida através da seguinte equação:

$$\rho_r = \frac{m_d}{m_d - m_h} \times \rho_{rh} \quad (\text{equação 4.3})$$

#### 4.3.1.4. Módulo de elasticidade dinâmico por ultrassons

Para a realização do ensaio de módulo de elasticidade por ultrassons (ficha de ensaio Pa 43 do LNEC), foi apenas possível selecionar uma amostra (TAV4) pois foi a única que apresentou um provete com dimensões suficientes para permitir fazer várias medições ao longo da superfície. Após a limpeza inicial do provete (Figura 4.7a), foram desenhadas três linhas, segundo 3 direções diferentes formando um triângulo na superfície do provete, para desse modo conseguir uma análise mais global da velocidade dos ultrassons (Figura 4.7b). Cada uma dessas linhas apresentava marcas de centímetro em centímetro, sendo que a primeira possuía um total de 8 cm e a segunda e terceira linhas 7 cm. O aparelho utilizado para a execução do ensaio foi o Steinkamp Ultrasonic Tester BP-7. Numa primeira fase a máquina de ensaios foi calibrada. Em seguida o provete foi colocado na mesa de ensaio e colocou-se o transdutor recetor fixo no zero, enquanto o transdutor emissor foi sendo colocado, sucessivamente de centímetro a centímetro ao longo de cada linha. Realizaram-se 3 medições por cada centímetro, permitindo uma menor margem para eventuais erros. Houve especial atenção para manter os transdutores com uma inclinação de aproximadamente  $45^\circ$  (Figura 4.7c). Foram-se registando os valores de tempo ( $\mu\text{s}$ ) de propagação das ondas entre cada par de pontos, com afastamentos crescentes. Para a determinação da velocidade de propagação das ondas ( $v_{us}$  em  $\text{m/s}$ ), registou-se num gráfico os pares de valores (distância, tempo) e determinou-se com eles uma linha de



tendência. O inverso do declive dessa reta é uma aproximação da velocidade. Com base nessa velocidade, na massa volúmica aparente do provete ( $\rho$ ) (obtida através do ensaio de porosidade aberta em  $\text{kg/m}^3$ ) e da constante K (equação 4.4) que depende do coeficiente de Poisson ( $\phi$ ), fixado em 0,2 para argamassas deste género, foi possível calcular, por fim, o módulo de elasticidade dinâmico por ultrassons ( $E_{\text{dus}}$  em  $\text{N/mm}^2$ ) (equação 4.5).

$$K = \frac{(1+\phi) \times (1-2\phi)}{(1-\phi)} \quad (\text{equação 4.4})$$

$$E_{\text{dus}} = v_{\text{us}}^2 \times \rho \times k \quad (\text{equação 4.5})$$

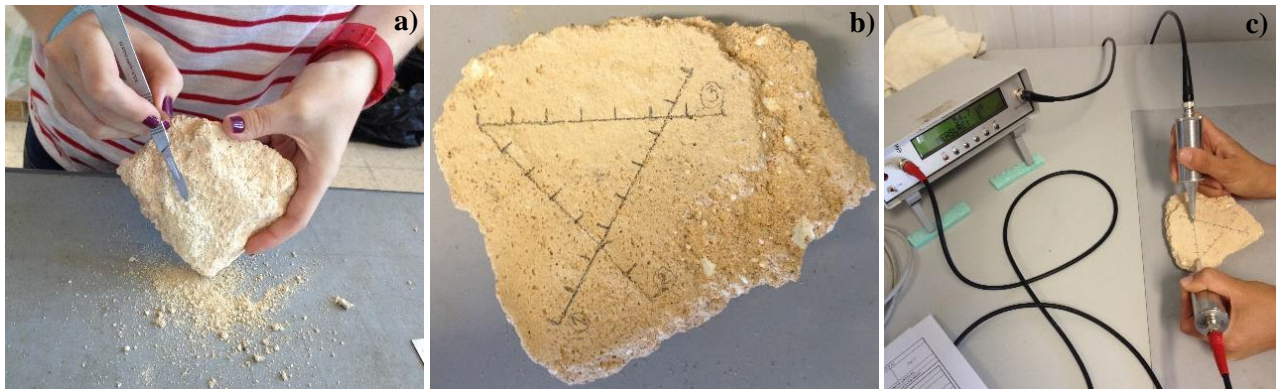


Figura 4.7 - Remoção de partículas soltas e imperfeições pontuais do provete maior da amostra TAV4 (a), linhas definidas para colocação dos transdutores (b) e realização do ensaio de ultrassons (c)

### 4.3.2. Ensaio químicos e mineralógicos

#### 4.3.2.1. Preparação das amostras

Após a realização de todos os ensaios de carácter físico-mecânico, procedeu-se à preparação das amostras remanescentes (quer o conteúdo reservado das 8 amostras consideradas na primeira fase de ensaios, quer as 32 amostras que desde início se revelaram aptas apenas para esta segunda fase de trabalhos) para a análise mineralógica e química.

Antes de qualquer ensaio, procedeu-se a uma preparação elaborada das amostras disponíveis. Esta preparação seguiu 2 procedimentos distintos com o intuito de obter 2 preparados, nomeadamente fração fina e fração global.

O processo iniciou-se com a observação e ponderação da existência ou não, dentro de cada conjunto, de fragmentos coesos (agregados ligados por ligante) suficientes para obter, sensivelmente, um mínimo de 1,5g de fração fina (Figura 4.8a). Esta preparação consistiu na desagregação cuidadosa da pasta que liga a areia, através de movimentos de fricção por pressão e rotação de um martelo de borracha sobre os fragmentos seleccionados, evitando movimentos de pancadas que poderiam partir agregados e assim adulterar o conteúdo da fração fina que visa compreender essencialmente o(s) ligante(s) constituintes da amostra (Figura 4.8b). Posteriormente fez-se passar a amostra desagregada por um peneiro com uma abertura de malha de 106  $\mu\text{m}$  (Figura 4.8c) e repetiu-se o processo tantas vezes quanto as necessárias para obter o mínimo de 1,5g de fração fina para a realização dos futuros ensaios. Antes de verter a fração fina para uma saqueta plástica, misturou-se com auxílio de uma espátula para garantir a homogeneização do preparado (Figura 4.8d). A fração retida no peneiro, após remoção dos finos, reservou-se para a eventual necessidade de utilização.

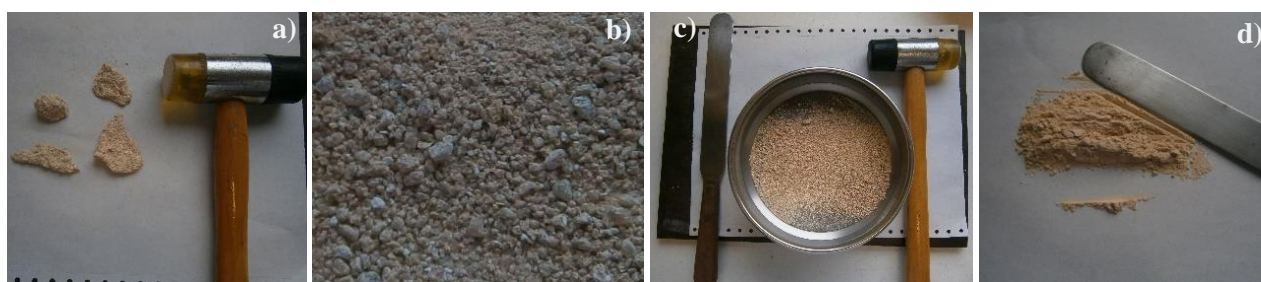


Figura 4.8 - Preparação de fração fina

Seguiu-se a preparação da fração global, para a qual se utilizou o conteúdo remanescente de cada amostra, nos casos onde foi possível efetuar fração fina, ou então o conteúdo total nos casos em que a quantidade existente da amostra não permitiu a execução dos 2 preparados. Para o primeiro caso, efetuou-se a seleção de aproximadamente 40g de fragmentos representativos do conjunto a analisar, verteu-se para uma folha de papel e, com o auxílio de uma espátula, efetuou-se um esquartelamento em 4 partes iguais, selecionando-se 2 dessas partes opostas para preparar a fração global. Em seguida verteu-se para um almofariz, moeu-se (Figura 4.9) e fez-se passar num peneiro de 106  $\mu\text{m}$ . Repetiu-se o processo até que todo o conteúdo moído passasse no peneiro. Antes de verter a fração global para uma saqueta plástica, homogeneizou-se o preparado com espátula. Finda a preparação da fração global, procedeu-se à lavagem adequada de todo o material usado para evitar contaminação de uma amostra para outra.

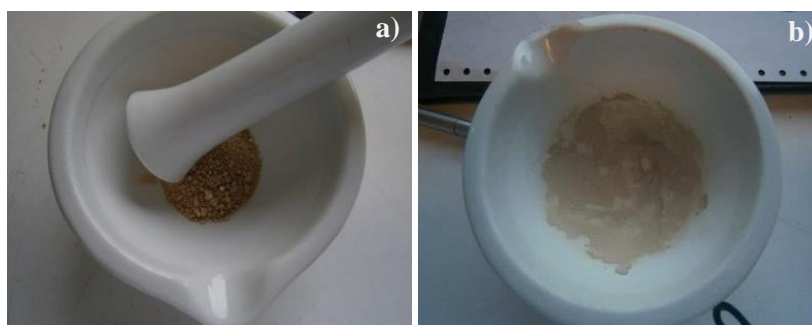


Figura 4.9 - Preparação de fração global

É importante ressaltar que nos casos em que foi impossível reunir amostra suficiente para realizar ambas frações fina e global, optou-se por realizar apenas a global, possível de ser sujeita a mais ensaios do que a fina. Surgiu também um caso (RL1) em que do conteúdo remanescente apenas faziam parte alguns fragmentos coesos, apropriados para realizar fração fina. Por essa razão realizou-se a fração fina e reservou-se à parte a fração resultante após remoção dos finos. Após a realização de ensaio de DRX juntou-se fração fina e fração após remoção de finos e fez-se um preparado de fração global, de modo a tirar-se o máximo proveito da amostra disponível.

#### 4.3.2.2. Análise por difração de raios X (DRX)

A análise por difração de raios X é uma técnica fiável e largamente utilizada na caracterização mineralógica de argamassas antigas. No entanto, não quantifica facilmente as proporções entre os diversos materiais de uma amostra, o que leva os investigadores, a utilizarem esta técnica para deteção da presença de determinados materiais na composição de uma amostra, mas não propriamente para quantificar o teor desses materiais na amostra. Esta análise baseia-se no facto dos planos cristalográficos de um composto irradiado por um feixe monocromático de raios X com comprimento de onda  $\lambda$  refletirem a radiação quando se cumpre a lei de Bragg (CHATTERJEE, 2000, citado por PINTO, 2004), representada pela equação 4.6, onde  $n$  (-) representa um número inteiro designado ordem de reflexão,  $\lambda$  (Å) o comprimento de onda do raio X,  $d$  (nm) a distância interplanar dos planos cristalinos (específica de cada substância) e  $\theta$  (°) o ângulo de incidência do feixe:

$$n\lambda = 2d \cdot \sin \theta$$

(equação 4.6)

Para um dado comprimento de onda do feixe de raios X, a lei de Bragg só se verifica para um certo ângulo  $\theta$  de difração. Deste modo, resulta da própria lei que o valor de  $d$  fica inequivocamente determinado, ou seja, a reflexão é seletiva e a cada valor de  $d$ , correspondente a uma família de planos reticulares, corresponde um ângulo  $\theta$  específico (CHATTERJEE, 2000, citado por PINTO, 2004) (Figura 4.10). Deste modo, a partir da determinação desta incógnita e recorrendo à base de dados do computador anexo ao difratômetro, é possível a identificação da espécie cristalográfica, por comparação com difratogramas previamente conhecidos e específicos de cada grupo mineral, como se de uma impressão digital se tratasse.

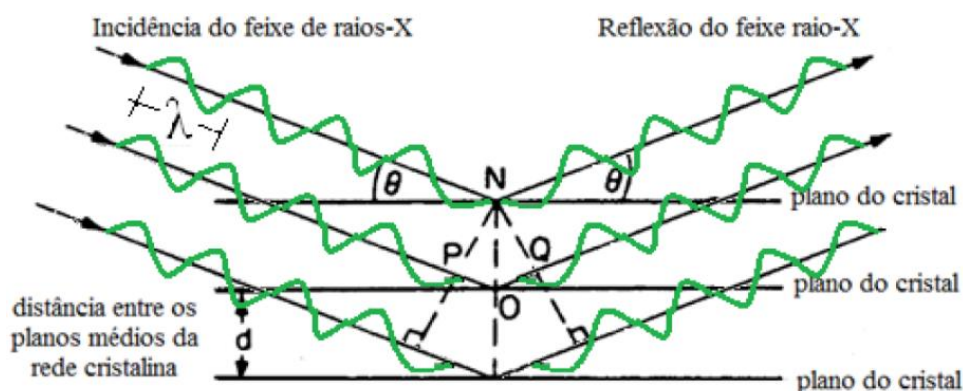


Figura 4.10 - Incidência de um feixe de raios X, com comprimento de onda  $\lambda$ , a incidir com um ângulo  $\theta$  num conjunto de planos cristalinos com espaçamento  $d$  (GRILO, 2013).

Quando combinada com a Análise Térmica, esta técnica permite estudar o tipo de ligante e detetar a presença de certos constituintes pozolânicos e de produtos de alteração. É de referir a importância crucial do rigor na preparação das frações a analisar neste tipo de ensaio pois caso contrário os materiais constituintes de uma determinada amostra serão confundidos por aquilo que os investigadores classificam como “ruído”, que aumenta consideravelmente a dificuldade na extração de dados e conclusões. O “ruído” trata-se de um conjunto de sinais que não estão diretamente relacionados com a amostra em análise, mas que resultam da presença de “impurezas” (LAWRENCE et al., 2006).

Para a realização do ensaio de difração de raios X utilizaram-se quer as frações finas quer frações globais, que permitiram indicar a composição mineralógica do ligante e agregado que compõem as amostras, mas também eventuais compostos existentes na pasta, sejam de neoformação ou sejam sais. Para qualquer um dos dois tipos de fração a preparação para o ensaio foi idêntica: selecionou-se uma porção da fração de forma a preencher o porta-amostras. Este preenchimento foi realizado cuidadosamente e faseadamente, depositando-se progressivamente, com o auxílio da espátula, pequenas porções da fração a analisar em camadas que foram sendo compactadas com um peso próprio para o efeito. Com o auxílio de uma lâmina foi-se rasando a superfície e redistribuindo excessos com o objetivo de obter uma pastilha de amostra final o mais compacta, coesa e preenchida possível (Figura 4.11). Terminada a preparação da pastilha de amostra, colocou-se o porta-amostras no difratômetro “Philips PW1830”, com 35kV e 45 mA de radiação, e utilizou-se radiação  $\text{CoK}\alpha$  com comprimento de onda  $\lambda = 1,7903\text{\AA}$ . Os difratogramas foram registados entre  $3^\circ$  e  $74^\circ$ ,  $2\theta$ , com incremento de  $0,05^\circ 2\theta\text{s}^{-1}$ .



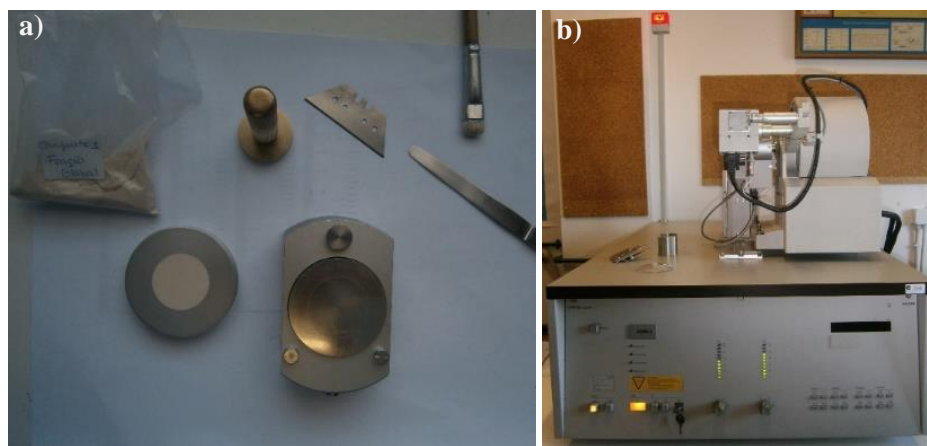


Figura 4.11 - Preparação da pastilha de amostra para ensaio de DRX (a) e difratômetro de raios X Philips PW1830 (b)

#### 4.3.2.3. Análise termogravimétrica (ATG)

A análise térmica abrange um conjunto de técnicas que recorrem à variação de temperatura para medir as alterações físicas e químicas que ocorrem numa substância, permitindo identificar determinados compostos presentes numa amostra.

A análise termogravimétrica é uma das técnicas térmicas mais utilizadas, que regista as variações de massa de uma amostra quando sujeita ao incremento constante de temperatura, sendo essas variações de massa representativas de transformações associadas a certos constituintes (perdas por desidratação, descarbonatação, entre outras) (VEIGA, 2007). Como essas reações podem ser quantificadas, muitos dos ganhos ou perdas de massa permitem identificar compostos nas amostras, dado que estes possuem intervalos de temperatura característicos.

Do ensaio de ATG obtém-se uma curva termogravimétrica (TG) por cada amostra, cujo eixo das abcissas corresponde à temperatura e o eixo das ordenadas ao valor de variação de massa. Ao realizar-se a primeira derivada da curva TG obtém-se a curva dTG, onde se encontram picos de área proporcional à variação de massa das amostras. Estes picos permitem estabelecer determinados intervalos de início e fim de perdas de massa que, por sua vez, são característicos da presença de determinados materiais na composição das argamassas (CIZER, 2009, citado por GRILO, 2013).

Para a realização do ensaio ATG utilizaram-se as frações globais das amostras, previamente preparadas. A análise foi realizada no analisador “SETARAM ATG 92-16.18” (Figura 4.12), sob atmosfera inerte de argon (3 L/h), com uma velocidade de aquecimento uniforme de 10°C/min, entre a temperatura ambiente e os 1000°C.



Figura 4.12 - Analisador “SETARAM ATG 92-16.18”

##### 4.3.2.4. Análise química – determinação da fração insolúvel por ataque ácido

Para que os traços das amostras, principalmente das 8 principais (TAV1, TAV2, TAV3, TAV4, HA1, CAS, RL1 e IMD) fossem mais fiáveis, para além da determinação do teor de ligante pelo ensaio de ATG procedeu-se à determinação do resíduo insolúvel dessas 8 amostras por ataque ácido com ácido clorídrico ( $\text{HNO}_3$ ). Tem-se, no entanto, consciência que se estão a analisar amostras já com muitos anos e que, por isso, sofreram alterações (envelhecimento) ao longo da sua vida. Assim, os traços obtidos não serão os traços originais. No entanto, sendo argamassas de assentamento de azulejos, estiveram menos expostas comparativamente por exemplo a argamassas de reboco.

Para a realização do ensaio, seleccionaram-se cerca de 3 a 4 gramas da fração global de cada amostra, anteriormente preparada, e colocaram-se em estufa a  $105^\circ\text{C}$ . Depois de seca, cada amostra foi colocada num frasco de vidro, hermeticamente fechado e devidamente identificado, e de seguida todos os frascos foram passados para um exsiccador com sílica, onde permaneceram até ao início do ensaio.

O ensaio iniciou-se com a pesagem numa balança de precisão de 0,0001g, de aproximadamente 1 grama de cada amostra seca ( $p_{\text{inicial}}$ ) colocada cuidadosamente com uma colher no interior de um gobelé de vidro de 400 mL alto (para evitar o transbordo de eventuais efervescências), previamente tarado (Figura 4.13a). Note-se que antes de se colocar cada porção de amostra no gobelé, a amostra era previamente homogeneizada com a colher para garantir que a porção retirada seria representativa da amostra. Após as pesagens, os gobelés foram tapados com vidro de relógio para garantir que não havia contaminações.

Dispuseram-se os gobelés sobre as placas de agitação magnética no interior de uma hotte, encheu-se um pipetador bico de pato de 50 mL com água destilada ultrapura e verteu-se essa água para o interior do gobelé da primeira amostra. Introduziu-se um agitador (barra magnética) no interior do gobelé e tornou-se a encher o pipetador com 50 mL de água, tornando-se a verter para o gobelé. Este processo repetiu-se para os restantes gobelés. Ligaram-se as placas de agitação magnética e após 2 minutos de agitação, com um pipetador de 20 mL introduziu-se o ácido clorídrico (1+9, equivalente a 1/10, considerado de fraca concentração) em cada gobelé, seguindo-se a introdução de mais 60 mL de água destilada ultrapura. A agitação mecânica (Figura 4.13b) durou cerca de 30 minutos, após os quais se desligaram as placas e se recolheram os gobelés.

Seguidamente ao processo de ataque ácido das 8 amostras, mediu-se o pH de cada solução com papel indicador de pH universal (Figura 4.13c), para averiguar se o ataque ácido teria sido bem efetuado. Por comparação com a escala, comprovou-se que todas as soluções apresentaram pH entre 1 e 2, o que indicou que o ataque com o ácido clorídrico foi bem realizado. Após a medição do pH, as soluções ficaram a sedimentar aproximadamente durante 2 horas.

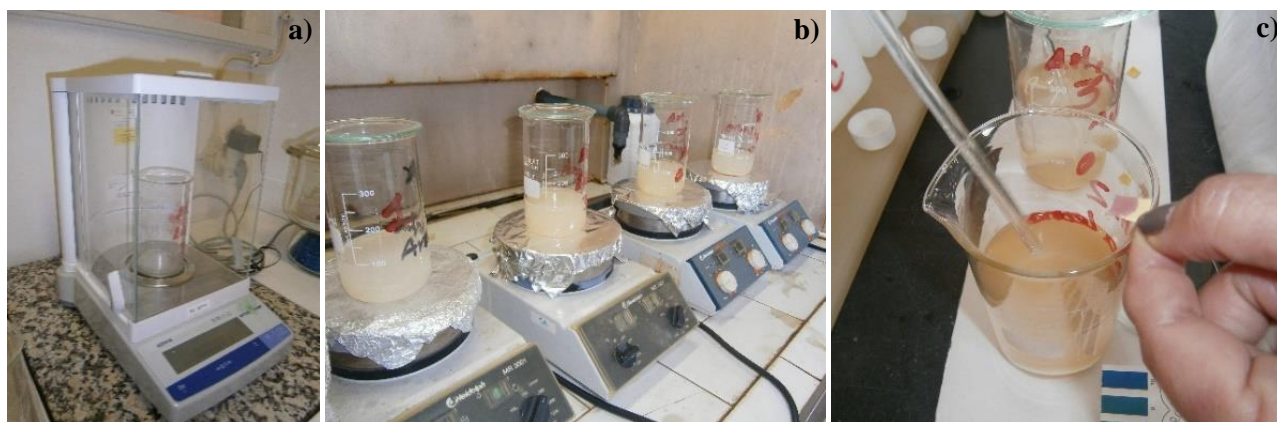


Figura 4.13 - Pesagem das amostras (a), agitação magnética das soluções (b) e medição do pH de cada solução (c)



Foi preparado um mecanismo para realizar a filtração do resíduo insolúvel, segunda etapa deste ensaio. Esse mecanismo consistiu num suporte com 8 frascos plásticos sobre os quais se colocou um funil com um filtro de duas camadas (Figura 4.14).

Com o auxílio de uma vareta de vidro encostada à parede do funil, realizou-se a decantação de cada solução. Terminado este processo, para garantir que não havia perda de resíduo, efetuaram-se várias lavagens com água destilada ultrapura aquecida, com auxílio de vareta de vidro. Quando restavam apenas alguns grãos nas paredes e no fundo do gobelé colocou-se uma borracha especial na extremidade da vareta, denominada polícia (Figura 4.15a) para limpeza mais eficiente.

Os agitadores foram removidos através da colocação de outro agitador no exterior do gobelé, removendo-se por magnetismo. Os resíduos que, por magnetismo, se encontravam agarrados ao agitador foram removidos com um pedaço de filtro que se acrescentou ao que estava no funil da solução correspondente (Figura 4.15b). Esses resíduos atraídos ao agitador eram ferrosos e encontravam-se em maior quantidade nos agitadores das soluções das amostras CAS e RL1 (Figura 4.15c), que eram precisamente as amostras com maior teor de cal segundo o ensaio de ATG. Deduziu-se que por esse facto exigiram um maior esforço aquando a remoção da argamassa do tardo do azulejo, podendo ter-se soltado alguns resíduos de ferro do escopro e martelo usados nessa remoção que acabaram por contaminar a amostra.

Posteriormente, colocaram-se 8 cadinhos de porcelana a secar em estufa. Uma vez secos, foram calcinados numa mufla a 1000°C (Figura 4.16a e b). Retiraram-se, ao rubro, e foram colocados num exsiccador onde ficaram a arrefecer. Quando arrefecidos, foram identificados e pesados, individualmente, numa balança de precisão de 0,0001g. Depois de pesados, foram cuidadosamente preenchidos com o conjunto filtro mais resíduos insolúveis da amostra correspondente (Figura 4.16c).

Colocou-se o cadinho preenchido em estufa para secar o resíduo e só depois na mufla para evitar choques térmicos. O aumento da temperatura foi gradual para que não ocorresse o incêndio do filtro.

Terminado o processo de calcinação a 1000°C, removeram-se os cadinhos, já contendo apenas o resíduo insolúvel, efetuou-se a pesagem desse resíduo ( $p_{\text{final}}$ ) e procedeu-se ao cálculo da percentagem que este representou na amostra (%RI).

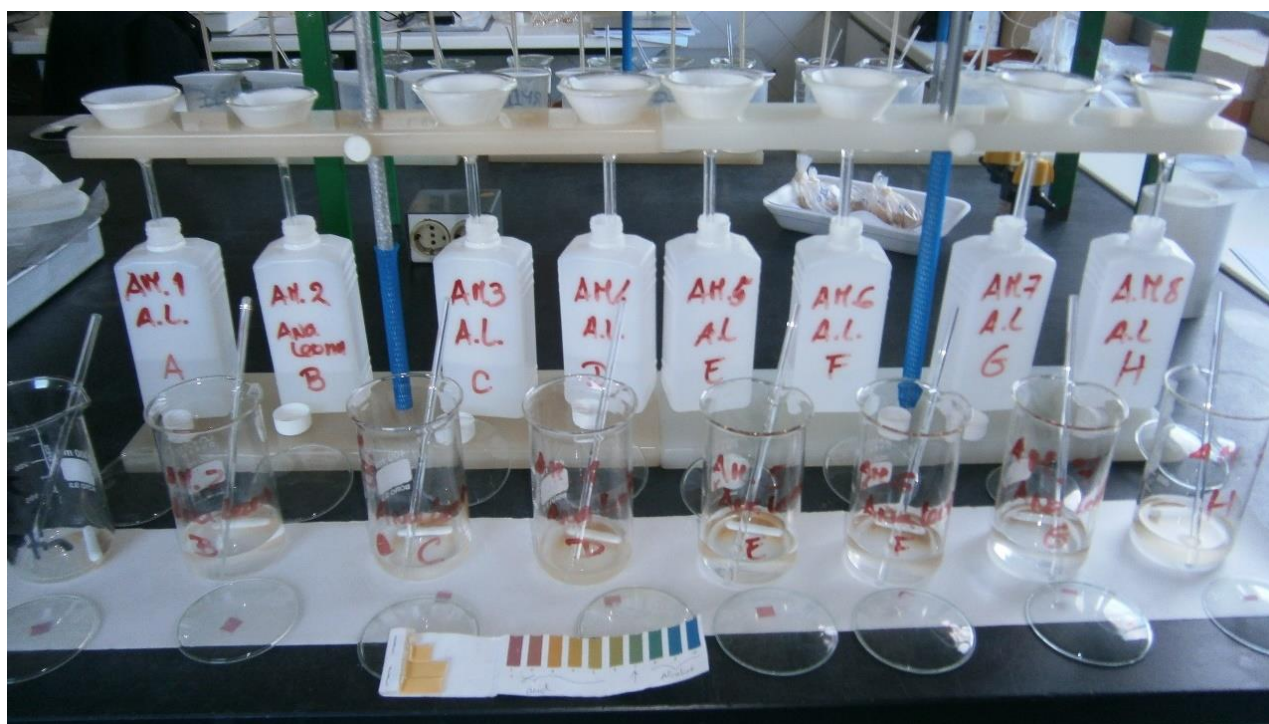


Figura 4.14 - Mecanismo preparado para realizar a decantação das soluções

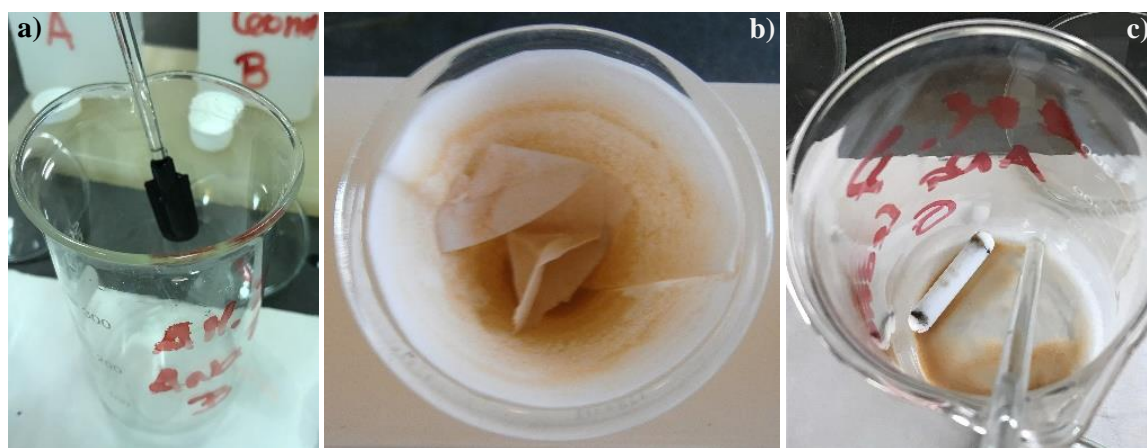


Figura 4.15 - Vareta de vidro com polícia (a), pedaços de filtro após remoção de resíduos do agitador (b) e agitador com resíduos ferrosos da solução de RL1 (c)



Figura 4.16 - Colocação dos cadinhos na mufla (a), calcinação dos cadinhos a 1000°C (b) e cadinho preenchido com os filtros com os resíduos insolúveis filtrados (c)

##### 4.3.2.5. Microscopia eletrônica de varrimento

Para aferir a eventual presença de agregado calcário nas amostras e para verificar a microestrutura das amostras analisadas, realizou-se o ensaio de microscopia eletrônica de varrimento (MEV) por impregnação a vácuo de resinas epóxi. Por ser o último ensaio a realizar, a quantidade remanescente de amostras era já reduzida e por isso apenas foi possível selecionar 4 amostras para este ensaio: TAV2, TAV4, HA1 e IMD.

A primeira etapa da preparação das amostras consistiu na consolidação a vácuo por impregnação das 4 amostras com resina epóxi com fluoresceína. As amostras foram inicialmente secas em estufa e armazenadas num exsiccador até início do ensaio. Em seguida foram colocadas num porta-amostras devidamente identificado, posteriormente colocado na câmara de amostras do aparelho de impregnação a vácuo LOGITECH IU30 (Figura 4.17a). A câmara de amostras foi colocada em vácuo para que todo o ar existente nas amostras fosse removido. Paralelamente, introduziu-se um funil forrado a papel de alumínio na câmara da resina. Preparou-se a resina com um endurecedor, num recipiente graduado, na proporção volumétrica de 3:1 (resina: endurecedor) (Figura 4.17b). Depois de bem misturada, verteu-se a resina, com auxílio do funil, para a câmara da resina e desarejou-se, colocando-se também em vácuo. Durante este processo foi importante manter a válvula do Gás Ballast aberta para que todos os compostos voláteis fossem extraídos da resina, caso contrário poderiam interferir com o endurecedor. Uma vez pronta, a resina foi distribuída pelos porta-amostras com auxílio dos manípulos do tubo dispensador de resina (Figura 4.17c). Por último, admitiu-se ar ao sistema para se processar a impregnação da resina no interior das amostras. Retirou-se o porta-amostras do aparelho e deixou-se a secar e endurecer ao ar.



Depois da resina estar seca, procedeu-se à separação das 2 amostras de cada caixa e efetuou-se o seu corte de precisão na serra de precisão IsoMet 4000 da BUEHLER, ficando as amostras com uma superfície regular e com dimensões suficientes para caber nos moldes. Depois de colocadas nos moldes com a superfície regular para baixo, colocou-se novamente uma pequena camada de resina epóxi com fluoresceína e depois dessa camada secar, colocou-se uma segunda camada sem fluoresceína. Quando a resina se encontrava totalmente seca procedeu-se à desmoldagem, com auxílio de pancadas secas, mas leves, com um martelo na base do molde. Em seguida realizou-se o polimento das amostras, na máquina de polimento LOGITECH PM5 inicialmente com o abrasivo de carboneto de silício de grão 600, seguido dos de óxido de alumínio de 15 $\mu$ m e por fim de 9  $\mu$ m. Estes abrasivos são dispersos em soluções de etilenoglicol, previamente misturadas num recipiente próprio da máquina. Para essa abrasão colocou-se um prato abrasivo na máquina (Figura 4.18a), característico de cada tipo de abrasivo. Durante a abrasão encontrava-se ligada ao aparelho uma peça de monitorização da planeza do prato. Antes do processo se iniciar, efetuou-se o “zero” dessa peça numa placa de mármore e efetuou-se o polimento do prato para que este estivesse limpo antes de iniciada a abrasão. As amostras foram colocadas no porta-amostras (Figura 4.18b) sob um peso e iniciou-se o processo de abrasão. Durante todo esse processo, a peça de monitorização foi controlando a planeza do prato e corrigindo concavidades e convexidades quando necessário por meio dos braços laterais que foram ajustando a posição do prato. A abrasão foi sendo interrompida e as amostras lavadas para se ir averiguando se a superfície já se encontrava sem a película de resina superficial. Em alguns casos verificaram-se pequenos poros abertos após remoção dessa película de resina e, para os tapar, foi necessário primeiro secar as amostras em estufa e depois aplicar uma fina camada nova de resina epóxi com fluoresceína, calcada com folha de acetato e deixada a secar novamente. Quando seca, foi novamente sujeita a abrasão. Terminado cada nível de abrasão procedeu-se à limpeza com água e álcool, para eliminação do etilenoglicol, e procedeu-se à abrasão seguinte. Terminadas as 3 primeiras abrasões, passaram-se as amostras para a máquina de polimento Laboforce-MI da Struers (Figura 4.18c), com abrasivos de diamante de 6, 3, 1 e ¼  $\mu$ m, em solução oleosa. Nessa máquina existiam panos abrasivos no lugar de pratos, também próprios de cada nível de abrasão. Note-se que foi extremamente importante seguir à risca o polimento gradual das amostras, do abrasivo mais grosso para o mais fino, respeitando-se sempre os pratos e panos característicos de cada nível de abrasão, caso contrário a amostra seria riscada e não polida.

Terminado o processo de polimento das amostras, recobriu-se a superfície polida com uma película de ouro na câmara de recobrimento BAL-TEC SCD 005 (Figura 4.19a) para possibilitar boa condutividade elétrica superficial e analisaram-se as amostras em vácuo num microscópio eletrónico de varrimento JEOL 6400 com espectrómetro de raios X dispersivo de energias OXFORD INCA X-Sight (Figura 4.19b).



Figura 4.17 - Aparelho de impregnação a vácuo LOGITECH IU30 (a), materiais para preparação da resina (b) e impregnação das amostras (c)

#### 4. Amostragem e procedimentos de ensaio



Figura 4.18 - Máquina de polimento LOGITECH PM5 com prato abrasivo colocado (a), várias amostras preparadas com resina (incluindo TAV2, TAV4, HA1 e IMD) colocadas no porta-amostras na máquina de polimento (b) e na máquina de polimento com diamante (c)



Figura 4.19 - Recobrimento das amostras com película de ouro (a) e microscópio eletrônico de varrimento (b)

## 5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 5.1. Considerações gerais

No presente capítulo apresenta-se a compilação dos resultados obtidos nos diversos ensaios realizados bem como a sua análise e correlação. Para cada ensaio, tomou-se como representativo o valor médio dos resultados dos vários provetes constituintes de cada amostra. Em alguns casos, a dispersão de resultados é relativamente grande, facto expectável em amostras recolhidas em obra e por isso sujeitas a condições muito variáveis.

Como referido anteriormente, é possível consultar todos os resultados detalhados obtidos da campanha experimental nas fichas de estudo de cada amostra apresentadas nos anexos.

### 5.2. Resultados da caracterização físico-mecânica

#### 5.2.1. Absorção de água por capilaridade e secagem

De um modo geral, por se tratar de argamassas antigas à base de cal aérea, com poros grandes, a maior absorção ocorre logo nos primeiros minutos. Desta forma, o intervalo de pontos a considerar no cálculo do  $C_{cc}$  foi ajustado caso a caso e calculado, na maioria dos casos, antes dos 5 minutos. Como os  $C_{cc}$  recolhidos na literatura, quer de argamassas antigas de cal aérea, quer das argamassas de assentamento de azulejo antigas, eram praticamente todos referentes aos primeiros 5 minutos ( $C_{cc5}$ ), calculou-se também esse coeficiente, através do mesmo procedimento que os  $C_{cc}$ , para possibilitar a sua comparação. No entanto, nesses casos, o  $C_{cc5}$  é quase sempre menor que o  $C_{cc}$  calculado ajustado à curva de capilaridade.

Nos anexos é possível consultar as curvas de absorção dos primeiros 10 minutos<sup>1/2</sup>, com respetiva sinalização dos declives que deram origem aos  $C_{cc}$  apresentados. Na Tabela 5.1 são apresentadas as áreas de absorção consideradas, bem como os coeficientes de capilaridade por contacto individuais e respetivas médias por amostra. O valor médio de  $C_{cc}$  do conjunto das 8 amostras foi de 1,80 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>).

Como se pode verificar pela Tabela e Figura 5.1, a amostra TAV1 é a que apresenta um valor médio de  $C_{cc}$  mais elevado (2,91 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)). No entanto foi o provete TAV3-2 o que registou o maior  $C_{cc}$  (4,53 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)). Por outro lado, constata-se que a amostra TAV2 apresenta uma absorção muito inferior às restantes (0,27 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)), situação realçada nas Figuras 5.2 e 5.3. Como a face que contactava com o geotêxtil era precisamente a que contactava com o azulejo antes da sua remoção, na origem deste valor poderá estar a existência na amostra de algum produto/tratamento colocado numa recolagem do azulejo ou mesmo a utilização de uma argamassa diferente, mais compacta, numa intervenção ocorrida na zona desse azulejo.

Tabela 5.1 – Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade

Amostra	Proвете	Área de absorção [mm <sup>2</sup> ]	Ccc [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )]		Ccc <sub>5</sub> [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )]	
			Valores ind.	Média	Valores ind.	Média
TAV1	TAV1-1	1911,9	3,38	2,91	1,89	1,51
	TAV1-2	1499,0	2,44		1,13	
TAV2	TAV2-1	1393,3	0,27	0,27	0,15	0,15
TAV3	TAV3-1	4916,1	1,38	2,59	1,32	1,62
	TAV3-2	1356,6	4,53		1,87	
	TAV3-3	1160,6	1,85		1,67	
TAV4	TAV4-1	4612,0	1,51	1,51	1,66	1,66
HA1	HA1-1	1061,9	2,00	2,54	1,36	1,46
	HA1-2	896,3	3,08		1,55	
CAS	CAS-1	2552,6	1,91	1,91	1,91	1,91
RL1	RL1-1	1317,6	1,11	1,11	1,11	1,11
IMD	IMD-1	1119,4	1,56	1,56	1,12	1,12

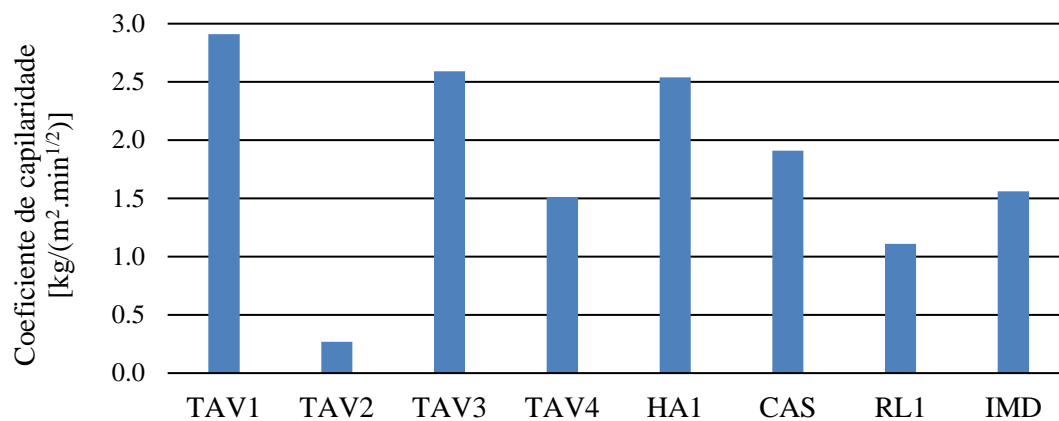


Figura 5.1 - Coeficientes de capilaridade médios obtidos por amostra

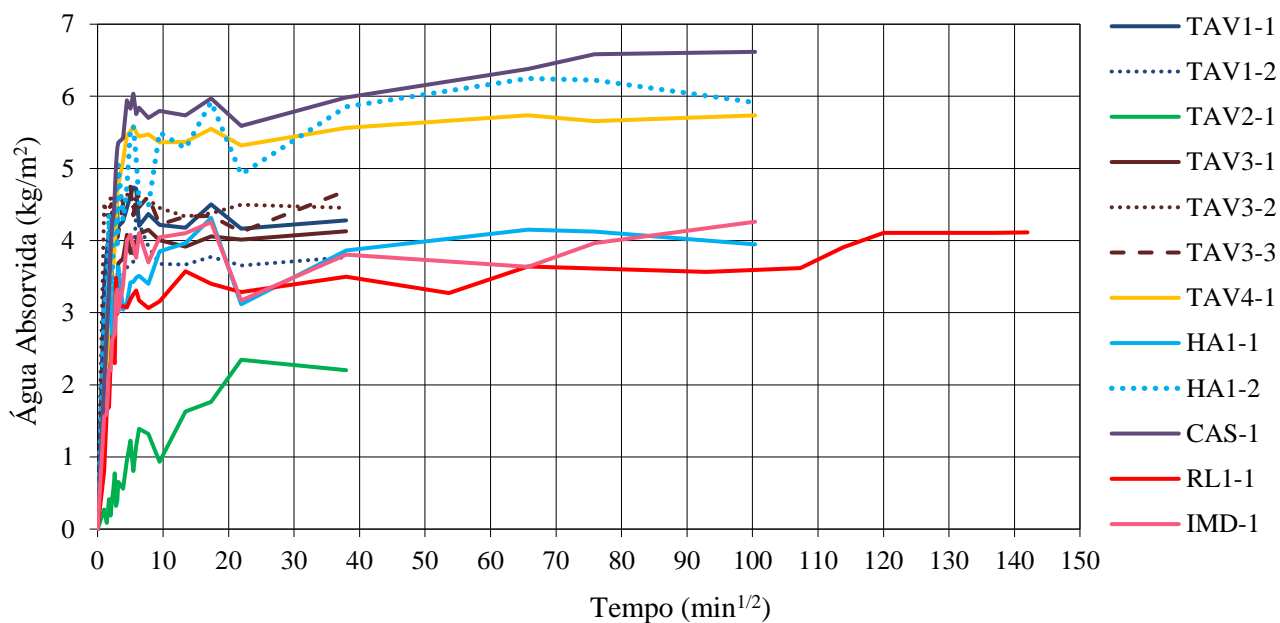


Figura 5.2 – Absorção de água em função do tempo ( $\text{min}^{1/2}$ )

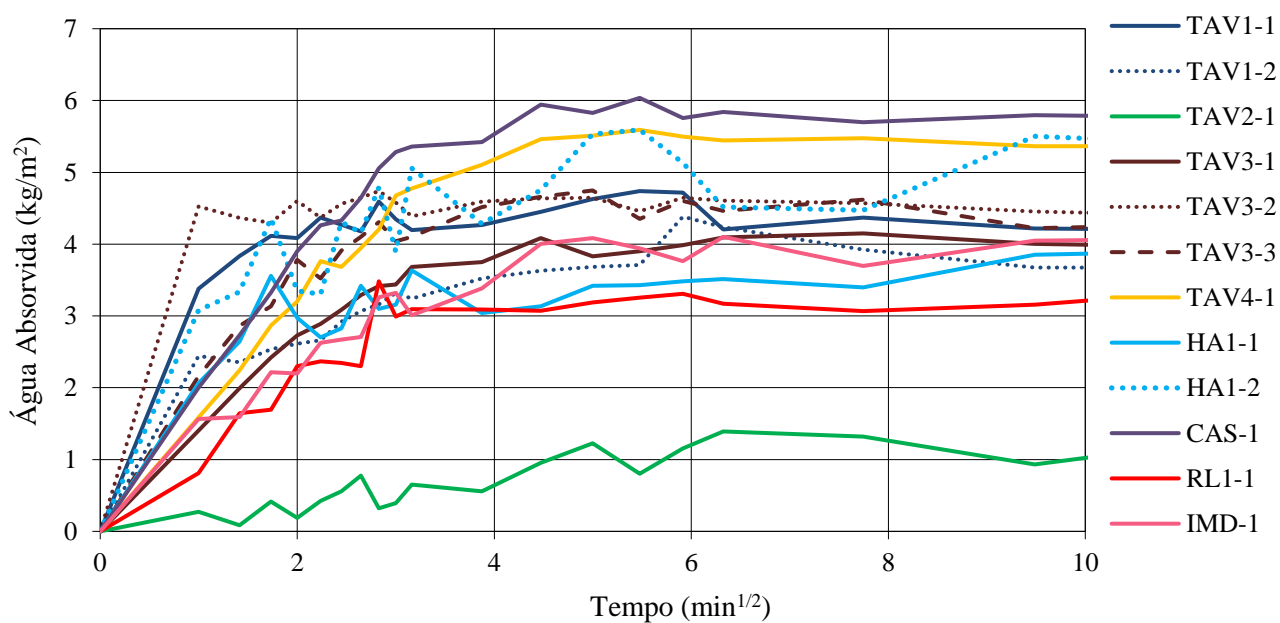


Figura 5.3 – Pormenor dos primeiros 10 minutos<sup>1/2</sup> de absorção de água

Comparando o valor de Ccc5 médio obtido na presente dissertação,  $1,40 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ , com a média dos sete valores de Ccc5 de amostras de argamassa de assentamento de azulejos recolhidos da literatura (dos séculos XVI a XX) (Tabela 3.2),  $1,37 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ , verifica-se uma grande proximidade entre ambos, o que sugere uma eventual uniformidade na composição das amostras, independentemente da sua localização exterior ou interior, da época e tipo de edifício, entre os analisados.

Na Tabela 5.2 são apresentadas as áreas de secagem consideradas por provete, bem como as taxas da primeira e segunda fase de secagem, calculadas através dos gráficos de secagem apresentados nos anexos. O valor médio da TS1 foi de  $0,0020 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$  e o da TS2 foi de  $0,0672 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ .

A gama de valores que define macroporos e microporos não é consensual entre autores. No presente estudo consideraram-se os valores definidos por Lucas et al. (2012) como os mais apropriados:  $0,5\text{-}5 \mu\text{m}$  para microporos e  $>5 \mu\text{m}$  para macroporos. Como se pode verificar na Tabela 5.2 e nas Figuras 5.4, 5.5 e 5.6, as amostras TAV1 e IMD apresentam em simultâneo TS1 elevada e baixa TS2, indicando elevado transporte de água líquida até à superfície da amostra e baixa difusão de vapor de água, que se poderá traduzir na predominância de macroporos nessas amostras. Já as amostras CAS e RL1 apresentam TS1 baixa e TS2 elevada, ou seja, baixo transporte de água líquida até à superfície, mas elevada difusão de vapor de água, o que poderá indicar predominância de microporos nessas amostras. Por outro lado, da análise da Figura 5.7 verifica-se que existe uma relação direta entre Ccc e a TS1, sendo que quanto maior Ccc maior a TS1 e vice-versa. Geralmente, a maiores Ccc corresponde uma maior predominância de macroporos e a menores Ccc, uma predominância de microporos (RATO, 2006; ARANDIGOYEN et al., 2006).

Tabela 5.2 – Taxas de secagem da primeira e segunda fases do processo de secagem das amostras

Amostra	Provete	Área de secagem [mm <sup>2</sup> ]	TS1 [kg/(m <sup>2</sup> .min)]		TS2 [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )]	
			Valores ind.	Média	Valores ind.	Média
TAV1	TAV1-1	3823,78	0,0024	0,0024	0,0553	0,0603
	TAV1-2	2998,00	0,0024		0,0652	
TAV2	TAV2-1	2786,54	0,0019	0,0019	0,0508	0,0508
TAV3	TAV3-1	9832,27	0,0017	0,0024	0,0577	0,0674
	TAV3-2	2712,75	0,0027		0,0756	
	TAV3-3	2321,24	0,0027		0,0689	
TAV4	TAV4-1	9223,99	0,0011	0,0011	0,0443	0,0443
HA1	HA1-1	2123,74	0,0022	0,0028	0,0671	0,0796
	HA1-2	1792,64	0,0033		0,0921	
CAS	CAS-1	5105,16	0,0019	0,0019	0,1015	0,1015
RL1	RL1-1	2635,27	0,0013	0,0013	0,0685	0,0685
IMD	IMD-1	2238,83	0,0022	0,0022	0,0652	0,0652

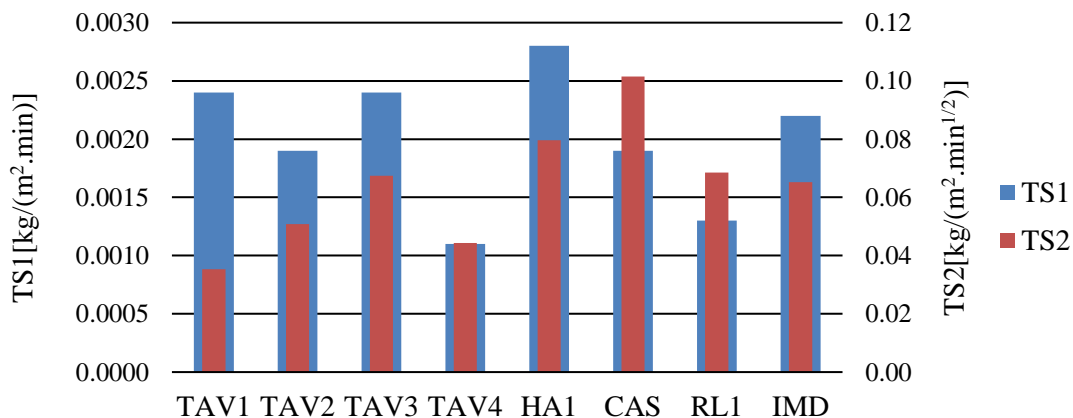


Figura 5.4 – Taxas de secagem da primeira e segunda fases de secagem



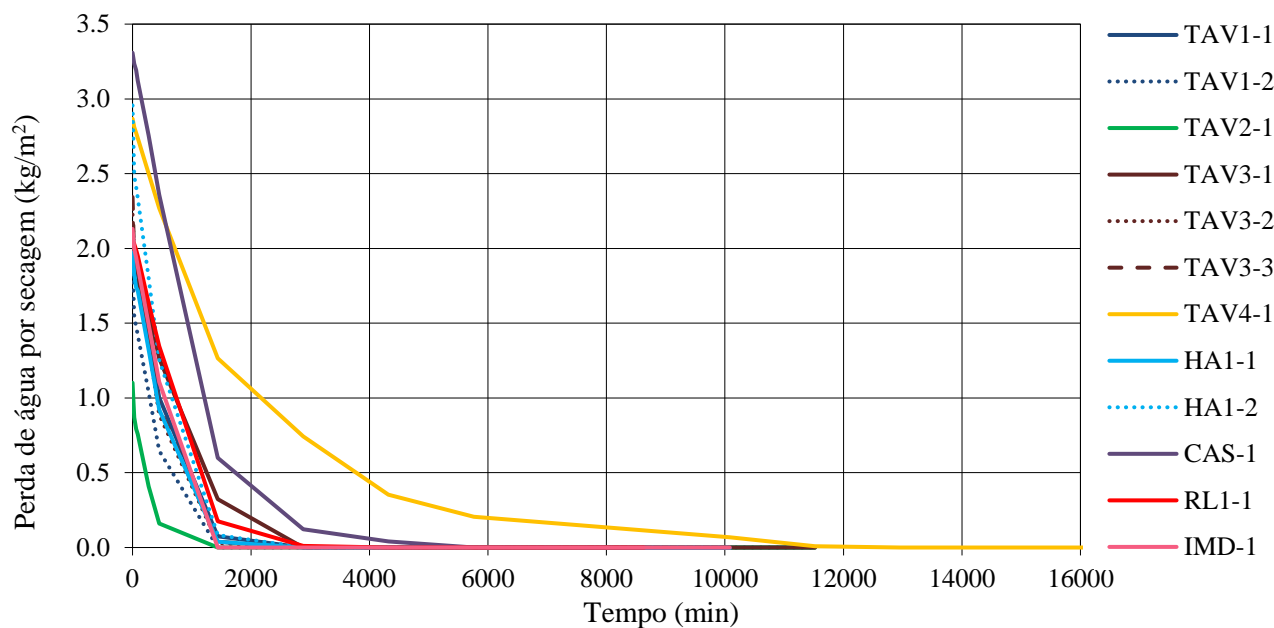


Figura 5.5 – Perda de água em função do tempo, ilustrando a primeira fase de secagem

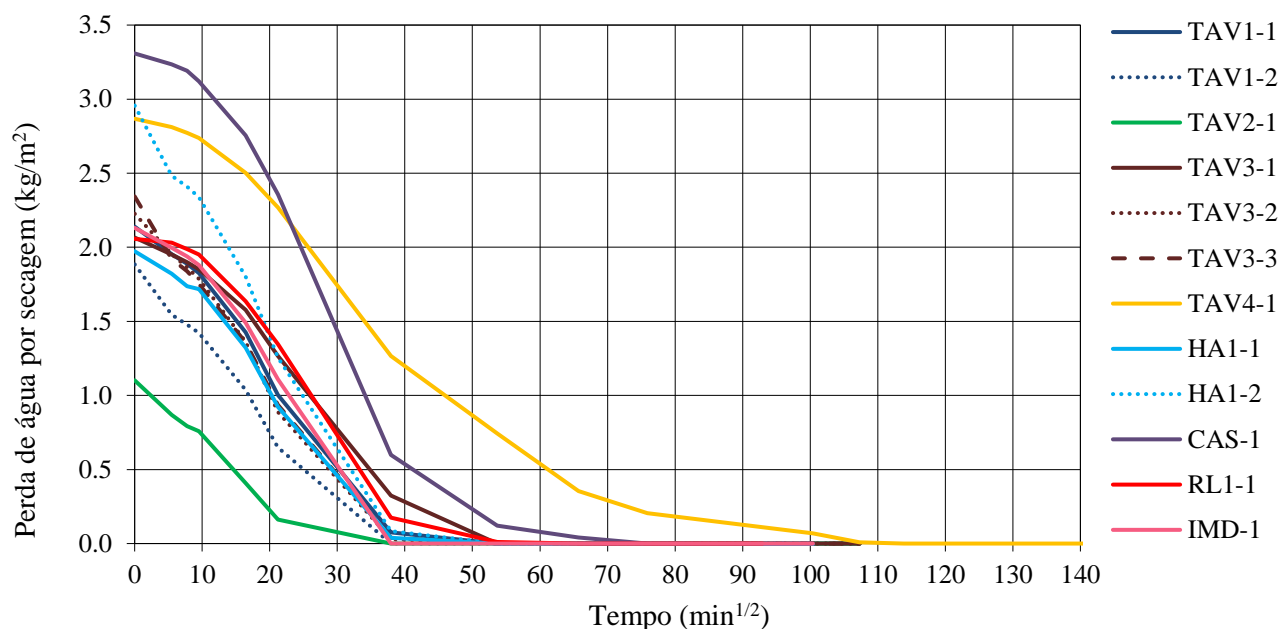
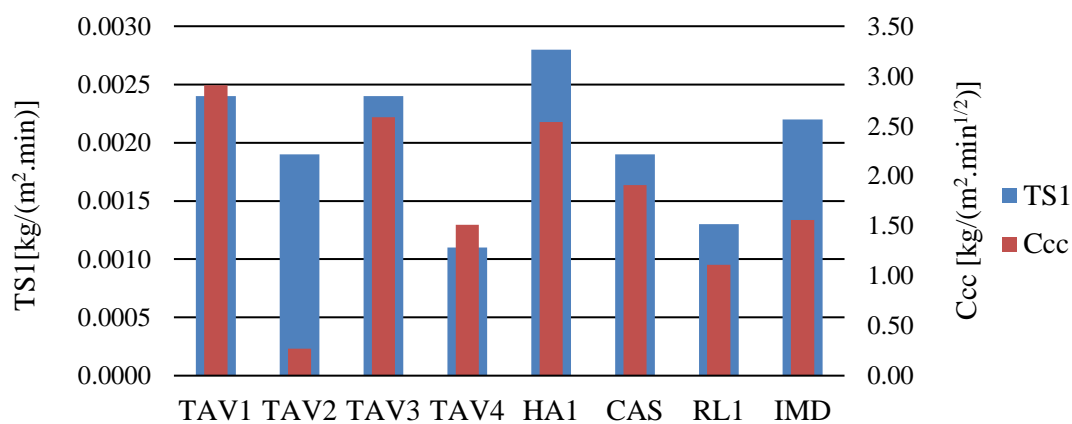

Figura 5.6 - Perda de água em função da  $\sqrt{t}$ , ilustrando a segunda fase de secagem


Figura 5.7 - Comparação entre taxa de secagem da primeira fase e coeficiente de capilaridade por contacto



### 5.2.2. Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão, conforme mencionado anteriormente, apenas foi possível realizar em 5 provetes, todos provenientes de amostras (e por isso locais) diferentes. Como se pode verificar pela Figura 5.8, a amostra HA1-3 é a que apresenta uma resistência mais elevada ( $3,34 \text{ N/mm}^2$ ) e a TAV1-3 a que apresenta um valor menor ( $0,62 \text{ N/mm}^2$ ).

Note-se que o provete CAS-1 antes de ser submetido ao ensaio de compressão foi sujeito ao ensaio de absorção de água por capilaridade por contacto. Apesar de se ter revelado na análise inicial como a amostra mais friável, quando ensaiada mecanicamente revelou uma boa resistência à compressão.

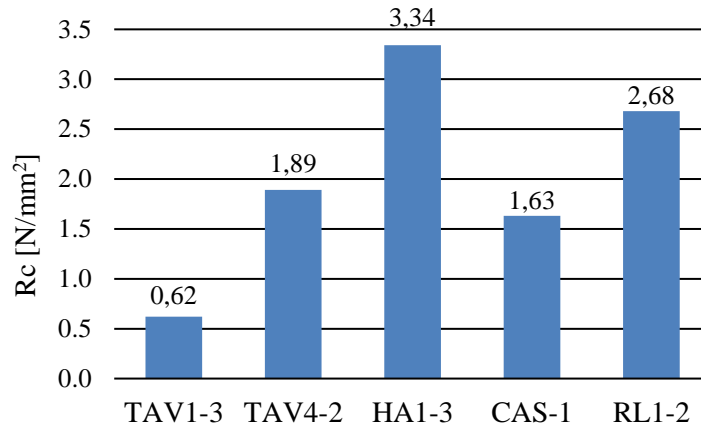


Figura 5.8 - Resistência à compressão das amostras analisadas

Comparando a média das resistências obtidas da campanha experimental,  $2,03 \text{ N/mm}^2$ , com o valor médio da recolha bibliográfica referente a argamassas de assentamento de azulejos apresentada na Tabela 3.2,  $1,67 \pm 0,08 \text{ N/mm}^2$ , verifica-se que os valores de resistência obtidos são ligeiramente superiores.

### 5.2.3. Porosidade aberta

Na Tabela 5.3 são apresentados os valores individuais e médias da massa volúmica aparente, real e porosidade aberta das amostras analisadas. O valor médio de  $P_{ab}$  obtido foi de 28,3%. A amostra com maior  $P_{ab}$  é a CAS (36%), em concordância com a maior friabilidade desta amostra face às restantes constatada na análise inicial (Tabela 4.1). A amostra com menor  $P_{ab}$  é a RL1 (23,5%), que também na análise inicial se verificou ser das argamassas com melhor coesão, visivelmente mais compacta e que apresentou valor elevado de resistência à compressão ( $2,68 \text{ N/mm}^2$ ), baixo coeficiente de capilaridade ( $1,06 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ ) e baixo transporte de água líquida até à superfície ( $0,0013 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{min})$ ).

Tabela 5.3 – Massa volúmica aparente, real e porosidade aberta das amostras

Amostra	Proвете	$\rho_b [\text{kg/m}^3]$		$\rho_r [\text{kg/m}^3]$		$P_{ab} [\%]$	
		Valor ind.	Média	Valor ind.	Média	Valor ind.	Média
TAV1	TAV1-4	1711	1732	2400	2416	29	28,5
	TAV1-5	1753		2431		28	
TAV2	TAV2-2	1682	1681	2280	2275	26	26,0
	TAV2-3	1679		2269		26	
TAV3	TAV3-4	1685	1705	2378	2401	29	29,0
	TAV3-5	1726		2435		29	
	TAV3-6	1705		2389		29	
TAV4	TAV4-3	1748	1748	2477	2477	29	29,0
HA1	HA1-4	1782	1791	2411	2421	26	26,0
	HA1-5	1800		2431		26	
CAS	CAS-2	1535	1535	2403	2403	36	36,0
RL1	RL1-3	1608	1642	2125	2157	24	23,5
	RL1-4	1676		2189		23	
IMD	IMD-2	1773	1773	2449	2449	28	28,0

Comparando a porosidade aberta das amostras com a respetiva resistência à compressão (Figura 5.9), verifica-se de um modo geral que as amostras que revelaram ter uma maior percentagem de poros abertos apresentaram uma menor resistência à compressão.

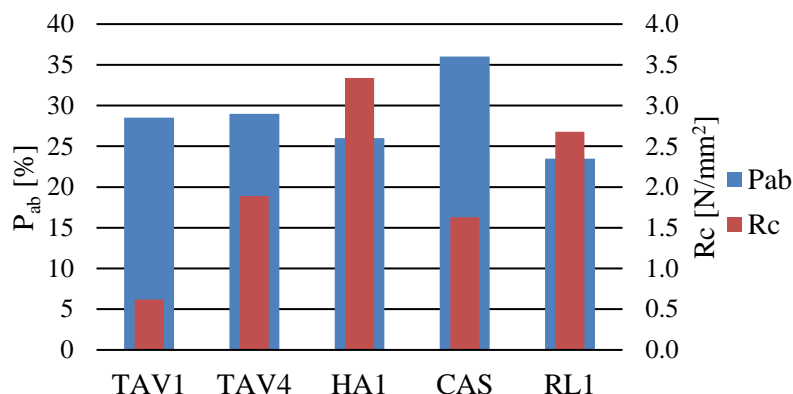


Figura 5.9 – Relação entra a porosidade aberta e a resistência à compressão das amostras

Correlacionando ainda a porosidade aberta das amostras e a sua capacidade de absorção de água (Figura 5.10) verifica-se, de um modo geral, que aos maiores valores de Ccc (TAV1, TAV3 e HA1) correspondem maiores P<sub>ab</sub> e aos menores valores de Ccc (TAV2, RL1 e IMD) correspondem menores valores de P<sub>ab</sub>. Assim, e relacionando com a análise da Figura 5.7, maiores valores de Ccc pressupõem uma maior P<sub>ab</sub>, com predominância de macroporos e menores valores de Ccc pressupõem uma menor P<sub>ab</sub>, com predominância de microporos. No entanto, para conclusões mais sólidas relativamente à estrutura porosimétrica das amostras seriam necessários ensaios complementares específicos para o efeito.

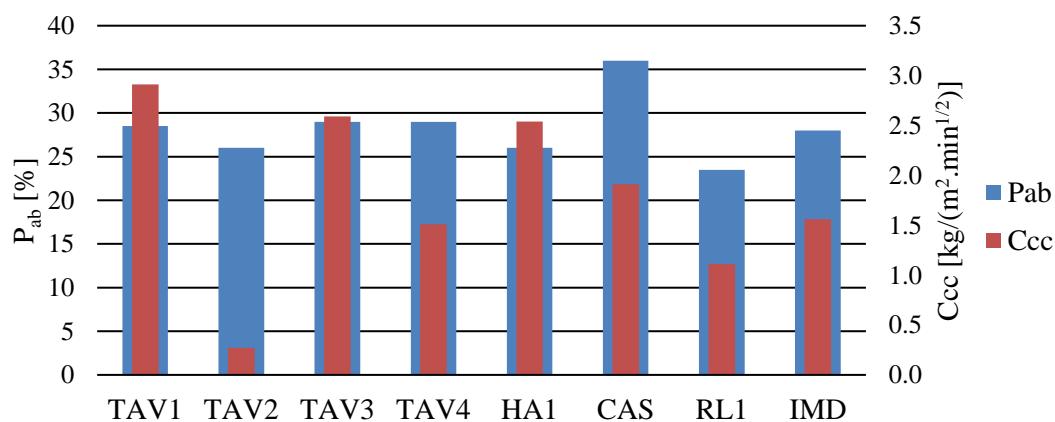


Figura 5.10 - Relação entre porosidade aberta e coeficiente de capilaridade

#### 5.2.4. Módulo de elasticidade por ultrassons

Conforme referido anteriormente, apenas foi possível ensaiar ao módulo de elasticidade dinâmico por ultrassons no maior provete da amostra TAV4, antes da sua divisão, por ser o único que recolhia as características necessárias para a sua realização. Da Tabela 5.4 verifica-se que, à semelhança do sucedido para a resistência à compressão, o módulo de elasticidade médio obtido na campanha experimental,  $3674 \pm 437$  N/mm<sup>2</sup>, é superior ao valor médio da recolha bibliográfica da Tabela 3.2, 1610 N/mm<sup>2</sup>.

Tabela 5.4 – Módulo de elasticidade da amostra TAV4

Direção	Velocidade [m/s]	E <sub>dus</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	E <sub>dus</sub> Médio [N/mm <sup>2</sup> ]
1	1540	3732	3674±437
2	1406	3112	
3	1618	4178	

### 5.3. Resultados da caracterização química e mineralógica

#### 5.3.1. Difração por Raios X (DRX)

As análises por DRX permitem conhecer os diversos tipos de compostos cristalinos presentes nas amostras. Assim, o resultado dessas análises, expresso em difratogramas por cada amostra, permitiu conhecer os principais constituintes das argamassas de assentamento de azulejo em estudo.

Nas Tabelas 5.5 e 5.6 encontra-se resumida a composição mineralógica das amostras provenientes de Lisboa e de Coimbra, respetivamente. Note-se que nos casos em que a quantidade de amostra era reduzida para realizar este ensaio (<1,5g), foram utilizadas bases de silício (casos indicados com \*). Esse material é transparente aos raios X, não interferindo com os resultados da amostra.

Nos anexos é possível consultar, em cada ficha de estudo, os difratogramas de cada amostra analisada.

De acordo com os resultados da DRX, verifica-se que os compostos cristalinos presentes em maior quantidade nas amostras de Lisboa e Coimbra são a calcite, o quartzo e, em muitos casos, os feldspatos, o que indica que todas as amostras apresentam como ligante a cal aérea e agregado maioritariamente silicioso.

Foi detetada a presença de minerais argilosos, nomeadamente a mica (ilite) e caulinite, em muitos dos casos analisados, com maior incidência e relevância nas amostras de Coimbra.

Na presença de um ambiente alcalino (com bastante cal disponível) e de uma quantidade de água suficiente, os iões de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e os iões hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) constituintes da cal, quando combinados com os iões de sílica e alumina livres nas partículas de argila, podem originar, por meio de reações pozolânicas, hidratos de cálcio, como silicatos e aluminatos de cálcio hidratados (CRISTELO, 2001), tendo-se verificado a presença destes últimos em muitas das amostras analisadas contendo mica e caulinite. Estes compostos de reação constituem uma contribuição para o aumento da resistência comum nas argamassas de combinação de cal com minerais argilosos.

Verificou-se ainda, em alguns casos, a presença de gesso e hidrocalumite. A hidrocalumite é um mineral típico de argamassas antigas que estiveram sujeitas à ação da água e que poderá ter sido originado pela reação da cal com minerais nos agregados alterados, ou pela utilização de materiais de características pozolânicas (p.e. argilas calcinadas como o pó de tijolo). A presença de gesso poderá resultar ou de uma adição intencional ou de uma contaminação por sais de sulfatos.

É nítida a diferença existente na cal aérea utilizada nas amostras de Lisboa, tipicamente calcítica, e nas amostras de Coimbra, dolomítica devido à presença de hidromagnesite nestas últimas. Na análise DRX, a presença deste tipo de carbonato foi detetada, mas pouco clara em muitos casos, dado que a sua concentração na amostra era reduzida. Apesar disso, a ATG permitiu complementar a DRX e comprovar a sua presença em todas as argamassas de Coimbra, como se verá adiante.

## 5. Apresentação e discussão de resultados

Tabela 5.5 – Composição mineralógica das argamassas de assentamento de azulejos de Lisboa

<i>Identificação</i>	<i>Constituintes principais</i>	<i>Constituintes em minoria</i>
<i>Século XVI</i>		
*ARQ1	Calcite, quartzo	Feldspatos
ARQ2, ARQ3, ARQ4	Calcite, quartzo, feldspatos	Mica (ARQ2?, ARQ4), caulinite (ARQ3?)
<i>Século XVII</i>		
HM1, HM2	Calcite, quartzo, feldspatos	Mica, caulinite, aluminato de cálcio hidratado
PL	Calcite, quartzo	Feldspatos, gesso?
<i>Século XVII-XVIII</i>		
TAV1, TAV2, TAV3, TAV4, CAS	Calcite, quartzo, feldspatos	Mica (TAV1?, TAV3, TAV4, CAS?), caulinite (TAV2?, TAV3?, TAV4?, CAS?), hidrocalumite (TAV3), gesso (TAV1, TAV3)
<i>Século XVIII</i>		
HA1, HA2, HA3	Calcite, quartzo, feldspatos	Mica (HA2, HA3)
IMD	Calcite, quartzo	Feldspatos
<i>Século XVIII - XIX</i>		
RL1, RL2	Calcite, quartzo, feldspatos	
<i>Século XIX</i>		
FR	Calcite, quartzo, feldspatos	

Notação utilizada: (\*) – amostra ensaiada com recurso a base de silício; (?) – Dúvidas.

Tabela 5.6 - Composição mineralógica das argamassas de assentamento de azulejos de Coimbra

<i>Identificação</i>	<i>Constituintes principais</i>	<i>Constituintes em minoria</i>
<i>Século XVIII</i>		
MMC1, MMC3, MMC4, MMC6, MMC7, MMC8, *MMC9	Calcite, quartzo, feldspatos	Mica (MMC1, MMC4, MMC6, MMC7, MC8), caulinite (MMC1, MMC4, MMC6, MMC7, MMC8), hidromagnesite (MMC1, MMC3, MMC4, MMC6, MMC7, MMC8, MMC9?), aluminato de cálcio hidratado (MMC1, MMC3, MMC4, MMC6, MMC7, MMC8, MMC9?)
MMC2, MMC5	Calcite, quartzo, feldspatos, mica, caulinite	Hidromagnesite, aluminato de cálcio hidratado
*MMC10	Calcite, quartzo	Feldspatos, hidromagnesite?, aluminato de cálcio hidratado?
<i>Século desconhecido</i>		
MMC11, MMC12	Calcite, quartzo, feldspatos, mica	Caulinite, hidromagnesite, aluminato de cálcio hidratado
MMC13, *MMC14, *MMC15, MMC16, MMC18, *MMC19, MMC20	Calcite, quartzo, feldspatos	Mica (MMC13, MMC16, MMC18, MMC20), caulinite (MMC13, MMC16, MMC18, MMC20), hidromagnesite (MMC13, MMC14?, MMC15?, MMC16, MMC18, MMC19?, MMC20), aluminato de cálcio hidratado (MMC13, MMC14?, MMC15?, MMC16, MMC18, MMC19?, MMC20)
MMC17, *MMC21	Calcite, quartzo	Feldspatos, mica (MMC17), caulinite (MMC17), hidromagnesite (MMC17? MMC21?), aluminato de cálcio hidratado (MMC17, MMC21?)

Notação utilizada: (\*) – amostra ensaiada com recurso a base de silício; (?) – Dúvidas.

### 5.3.2. Análise termogravimétrica (ATG)

Os resultados da análise termogravimétrica permitiram não só confirmar a presença de certos minerais em dúvida na análise DRX, mas também quantificar a presença desses minerais e calcular o traço ponderal aproximado com base no teor de ligante de cada amostra. Os resultados das amostras de Lisboa foram avaliados de forma distinta dos resultados de Coimbra, como se explicará adiante. Nos anexos são apresentados os termogramas, perdas de massa, teores de ligante e traços ponderais por amostra, calculados com base no ensaio ATG.

#### 5.3.2.1. ATG Lisboa

Na Figura 5.11 apresenta-se o termograma da amostra TAV2, exemplo das argamassas de assentamento provenientes de Lisboa, onde é possível verificar as curvas TG e dTG, típicas de argamassas de cal aérea calcítica. Nas amostras de Lisboa, os intervalos de perda de massa estipulados mantiveram-se constantes (SILVA, 2015):

- $T_{amb}$ -200°C: Perda de água de humidade e de cristalização (p.e. nas amostras que continham gesso);
- 200-500°C: Perda de água dos compostos hidratados (minerais argilosos como a caulinite);
- 500-850°C: Perda de dióxido de carbono devido à descarbonatação do carbonato de cálcio.

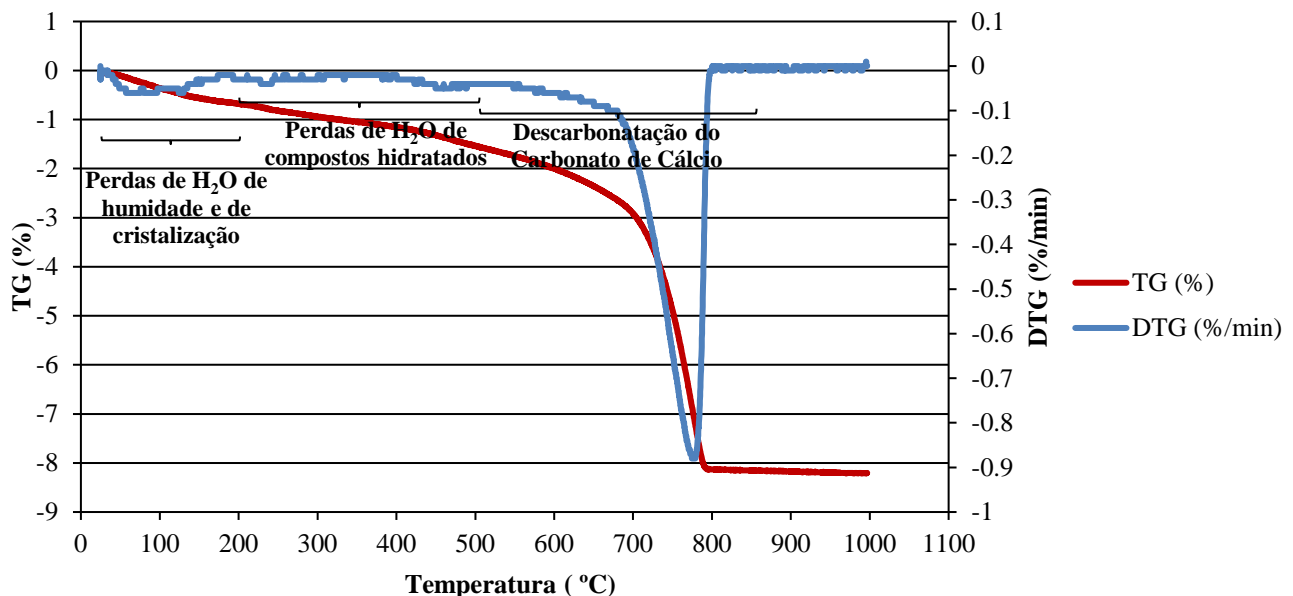
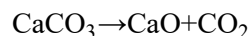


Figura 5.11 - Curvas TG e dTG da análise termogravimétrica da amostra TAV2 (Lisboa)

Com base nos valores de perdas de massa e nas correspondentes reações químicas associadas, foi possível calcular o teor de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e por sua vez o teor de cal hidratada ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) de cada uma das amostras de Lisboa. Posteriormente obteve-se o traço ponderal aproximado com base nas análises ATG.

No intervalo de temperatura 500-850°C ocorre a perda de massa correspondente à descarbonatação do carbonato de cálcio (SILVA, 2015):



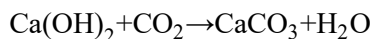
O teor de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) é calculado a partir do produto entre a perda de massa de  $\text{CO}_2$  no intervalo 500-850°C ( $\text{pm}_{500-850^\circ\text{C}}$  em %) e a razão molar entre calcite e dióxido de carbono libertado, equação 5.1:

$$\text{teor } [\text{CaCO}_3]\% = \text{pm}_{500-850^\circ\text{C}} \times \frac{\text{MM}[\text{CaCO}_3]}{\text{MM}[\text{CO}_2]} \quad (\text{equação 5.1})$$

## 5. Apresentação e discussão de resultados

---

Através da reação de carbonatação do  $\text{Ca(OH)}_2$ :



e do teor de carbonatos, determinado anteriormente, calcula-se o teor total de cal hidratada,  $\text{Ca(OH)}_2$ , consumido na reação de carbonatação, equação 5.2:

$$\text{teor } [\text{Ca(OH)}_2]\% = \text{teor } [\text{CaCO}_3] \times \frac{\text{MM}[\text{Ca(OH)}_2]}{\text{MM}[\text{CaCO}_3]} \quad (\text{equação 5.2})$$

Para obter o traço ponderal com base no teor de ligante considerou-se, por aproximação que a percentagem que não correspondia a ligante seria agregado, equação 5.3:

$$\% \text{Agregado} = 100\% - \%[\text{Ca(OH)}_2] \quad (\text{equação 5.3})$$

Obtendo-se a % Agregado, é possível calcular a proporção de agregado relativamente ao ligante, equação 5.4, e consequentemente um traço ponderal aproximado:

$$\text{Proporção do agregado relativamente ao ligante} = \frac{\% \text{Agregado}}{\% \text{Ca(OH)}_2} \quad (\text{equação 5.4})$$

### Exemplo de cálculo, com base na ATG, para a amostra TAV2

Cálculo do teor de  $\text{CaCO}_3$  na amostra:

$$\text{teor } [\text{CaCO}_3]\% = \text{pm}_{500-850^\circ\text{C}} \times \frac{\text{MM}[\text{CaCO}_3]}{\text{MM}[\text{CO}_2]} = 6,61 \times \frac{100,09}{44,01} = 15,03\%$$

$$\text{MM}_{\text{CaCO}_3} = M_{\text{Ca}} + M_{\text{C}} + 3 \times M_{\text{O}} = 40,08 + 12,01 + 3 \times 16 = 100,09 \text{ g/mol}$$

$$\text{MM}_{\text{CO}_2} = M_{\text{C}} + 2 \times M_{\text{O}} = 12,01 + 2 \times 16 = 44,01 \text{ g/mol}$$

Cálculo do teor de  $\text{Ca(OH)}_2$  consumido na reação de carbonatação:

$$\text{teor } [\text{Ca(OH)}_2]\% = \text{teor } [\text{CaCO}_3] \times \frac{\text{MM}[\text{Ca(OH)}_2]}{\text{MM}[\text{CaCO}_3]} = \left[ 6,61 \times \frac{100,09}{44,01} \right] \times \frac{74,096}{100,09} = 11,13\%$$

$$\text{MM}_{\text{Ca(OH)}_2} = M_{\text{Ca}} + 2 \times M_{\text{O}} + 2 \times M_{\text{H}} = 40,08 + 2 \times 16 + 2 \times 1,008 = 74,096 \text{ g/mol}$$

Cálculo do traço ponderal aproximado com base em ATG:

$$\% \text{Agregado} = 100\% - \%[\text{Ca(OH)}_2] = 100\% - 11,13\% = 88,87\%$$

$$\text{Proporção do agregado relativamente ao ligante} = \frac{88,87\%}{11,13\%} = 8 \rightarrow (\text{lig:agreg}) 1:8$$

As curvas TG e dTG da análise termogravimétrica efetuada a cada uma das amostras de Lisboa, bem como todos os valores de perdas de massa considerados, encontram-se nas fichas de estudo dos anexos.

Através de uma recolha de características químicas de diversas argamassas históricas da literatura, Genestar et al. (2006) refere que perdas de água dos compostos hidratados (entre 200 e 500°C) inferiores a 3% são características de argamassas típicas de cal aérea calcítica. No presente estudo comprovou-se que nas argamassas de Lisboa as perdas de água nesse intervalo de temperatura se situam entre 0,62 e 2,36%, portanto sempre inferiores a 3% o que vai ao encontro do afirmado.

Na Tabela 5.7 encontram-se os valores de teor de cal hidratada e agregado que estiveram na base do cálculo do traço ponderal aproximado das amostras de Lisboa, com base na análise ATG.

Tabela 5.7 - Traços ponderais calculados através de análise ATG para as amostras de Lisboa

Amostra	% Ca(OH) <sub>2</sub>	% Agregado	Traço ponderal
ARQ1	11,08	88,92	1:8
ARQ2	30,79	69,21	1:2
ARQ3	21,10	78,90	1:4
ARQ4	23,44	76,56	1:3
HM1	26,90	73,10	1:3
HM2	25,69	74,31	1:3
PL	38,55	61,45	1:2
TAV1	7,96	92,04	1:12
TAV2	11,13	88,87	1:8
TAV3	7,56	92,44	1:12
TAV4	15,24	84,76	1:6
CAS	22,64	77,36	1:3
HA1	21,28	78,72	1:4
HA2	16,65	83,35	1:5
HA3	24,41	75,59	1:3
IMD	19,95	80,05	1:4
RL1	30,74	69,26	1:2
RL2	30,32	69,68	1:2
FR	12,91	87,09	1:7

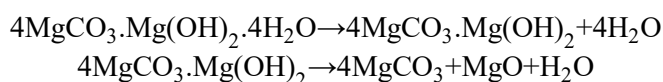
### 5.3.2.2. ATG Coimbra

Nas amostras de Coimbra, os intervalos de perda de massa foram ajustados caso a caso uma vez que os picos, apesar de se assemelharem muito de amostra para amostra, não se situavam exatamente nas mesmas gamas de temperatura. Em média, os intervalos de perda de massa estipulados foram os seguintes (com os devidos ajustes caso a caso) (SILVA, 2015):

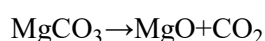
- T<sub>amb</sub>-200°C: Perda de água de humidade e de cristalização;
- 200-380°C: Perda de água da decomposição da hidromagnesite;
- 380-450°C: Perda de dióxido de carbono da decomposição da magnesite;
- 450-540°C: Perda de água da decomposição dos minerais de argila;
- 540-850°C: Perda de dióxido de carbono devido à descarbonatação do carbonato de cálcio.

Na Figura 5.12 é apresentado o termograma de uma das amostras de Coimbra (MMC1), cujas curvas são típicas de argamassas de cal aérea dolomítica.

Em todas as amostras originárias de Coimbra foi identificada a presença de hidromagnesite. A decomposição de hidromagnesite (4MgCO<sub>3</sub>.Mg(OH)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O) consiste na perda de moléculas de água de hidratação, num intervalo de temperatura de 200 a 380°C, segundo as seguintes reações (SILVA, 2015):



Por sua vez, entre os 380 e os 450°C ocorre a descarbonatação da magnesite (MgCO<sub>3</sub>), formada no processo de decomposição da hidromagnesite:



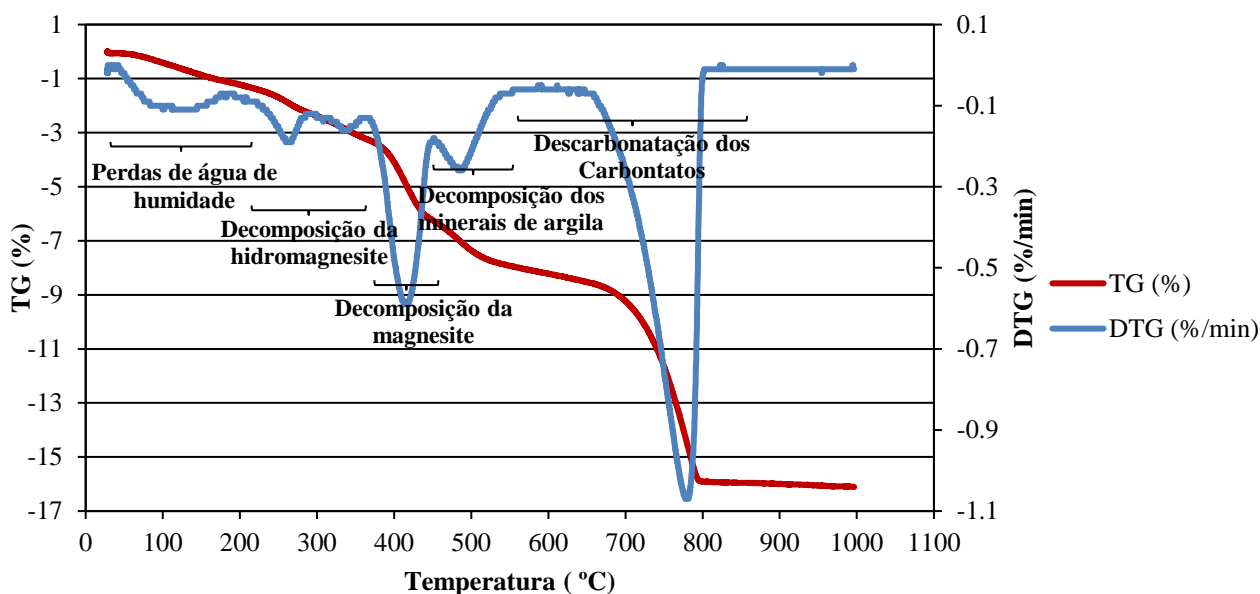


Figura 5.12 - Curvas TG e dTG da análise termogravimétrica da amostra MMC1 (Coimbra)

O teor de hidromagnesite ( $4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) é calculado a partir do produto entre a perda de massa de  $\text{H}_2\text{O}$  no intervalo  $200\text{--}380^\circ\text{C}$  ( $\text{pm}_{200-380^\circ\text{C}}$  em %) e a razão molar entre a hidromagnesite e as 5 moléculas de água libertadas durante a sua decomposição, equação 5.5:

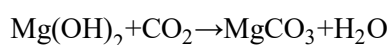
$$\text{teor} [\text{Hidromagnesite}] \% = \text{pm}_{200-380^\circ\text{C}} \times \frac{\text{MM}[\text{Hidromagnesite}]}{5 \times \text{MM}[\text{H}_2\text{O}]} \quad (\text{equação 5.5})$$

O teor de magnesite ( $\text{MgCO}_3$ ) é calculado a partir do produto entre a perda de massa de  $\text{CO}_2$  no intervalo  $380\text{--}450^\circ\text{C}$  ( $\text{pm}_{380-450^\circ\text{C}}$  em %) e a razão molar entre a magnesite e o  $\text{CO}_2$  libertado, equação 5.6:

$$\text{teor} [\text{MgCO}_3] \% = \text{pm}_{380-450^\circ\text{C}} \times \frac{\text{MM}[\text{MgCO}_3]}{\text{MM}[\text{CO}_2]} \quad (\text{equação 5.6})$$

Os teores de  $\text{CaCO}_3$  e de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  calculam-se do mesmo modo que o explicado nas argamassas de Lisboa, como se verá no exemplo de cálculo adiante.

Através da reação de carbonatação do  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ :



e do teor de hidromagnesite e magnesite, determinados anteriormente, calcula-se o teor total de hidróxido de magnésio,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , consumido na reação de carbonatação, equação 5.7:

$$\text{teor} [\text{Mg}(\text{OH})_2] \% = \text{teor} [\text{Hidromagnesite}] \times \frac{\text{MM}[\text{Mg}(\text{OH})_2]}{\text{MM}[\text{Hidromagnesite}]} + \text{teor} [\text{MgCO}_3] \times \frac{\text{MM}[\text{Mg}(\text{OH})_2]}{\text{MM}[\text{MgCO}_3]} \quad (\text{equação 5.7})$$

Desta forma, da soma entre os teores de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  e  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  obtém-se o teor de cal hidratada da amostra. Por aproximação, para obter o traço ponderal com base na ATG, considerou-se que a percentagem que não correspondia a ligante seria o agregado, equação 5.8:

$$\% \text{ Agregado} = 100\% - \% [\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2] \quad (\text{equação 5.8})$$



Obtendo-se a % Agregado, é possível calcular a proporção de agregado relativamente ao ligante, equação 5.9:

$$\text{Proporção do agregado relativamente ao ligante} = \frac{\% \text{ Agregado}}{\% \text{Ca(OH)}_2 + \% \text{Mg(OH)}_2} \quad (\text{equação 5.9})$$

#### Exemplo de cálculo, com base na ATG, para a amostra MMC1:

##### Cálculo do teor de Hidromagnesite:

$$\text{teor [Hidromagnesite]\%} = \text{pm}_{190-360^\circ\text{C}} \times \frac{\text{MM}[\text{Hidromagnesite}]}{5 \times \text{MM}[\text{H}_2\text{O}]} = 2,03 \times \frac{467,645}{5 \times 18,016} = 10,54\%$$

$$\begin{aligned} \text{MM}[\text{Hidromagnesite}] &= \text{MM}[\text{4MgCO}_3 \cdot \text{Mg(OH)}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}] = 4 \times (\text{M}_{\text{Mg}} + \text{M}_{\text{C}} + 3 \times \text{M}_{\text{O}}) + [\text{M}_{\text{Mg}} + 2 \times (\text{M}_{\text{O}} + \text{M}_{\text{H}})] + \\ &+ 4 \times [(2 \times \text{M}_{\text{H}}) + \text{M}_{\text{O}}] = 4 \times (24,305 + 12,01 + 3 \times 16) + [24,305 + 2 \times (16 + 1,008)] + 4 \times (2 \times 1,008 + 16) = \\ &= 467,645 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

$$\text{MM}[\text{H}_2\text{O}] = 2 \times \text{M}_{\text{H}} + \text{M}_{\text{O}} = 2 \times 1,008 + 16 = 18,016 \text{ g/mol}$$

##### Cálculo do teor de Magnesite:

$$\text{teor [MgCO}_3]\% = \text{pm}_{360-450^\circ\text{C}} \times \frac{\text{MM}[\text{MgCO}_3]}{\text{MM}[\text{CO}_2]} = 3,05 \times \frac{84,315}{44,01} = 5,84\%$$

$$\text{MM}[\text{MgCO}_3] = \text{M}_{\text{Mg}} + \text{M}_{\text{C}} + 3 \times \text{M}_{\text{O}} = 24,305 + 12,01 + 3 \times 16 = 84,315 \text{ g/mol}$$

##### Cálculo do teor de CaCO<sub>3</sub> na amostra:

$$\text{teor [CaCO}_3]\% = \text{pm}_{540-850^\circ\text{C}} \times \frac{\text{MM}[\text{CaCO}_3]}{\text{MM}[\text{CO}_2]} = 8,1 \times \frac{100,09}{44,01} = 18,42\%$$

$$\text{MM}_{\text{CaCO}_3} = \text{M}_{\text{Ca}} + \text{M}_{\text{C}} + 3 \times \text{M}_{\text{O}} = 40,08 + 12,01 + 3 \times 16 = 100,09 \text{ g/mol}$$

$$\text{MM}_{\text{CO}_2} = \text{M}_{\text{C}} + 2 \times \text{M}_{\text{O}} = 12,01 + 2 \times 16 = 44,01 \text{ g/mol}$$

##### Cálculo do teor de Ca(OH)<sub>2</sub> consumido na reação de carbonatação:

$$\text{teor [Ca(OH)}_2]\% = \text{teor [CaCO}_3]\% \times \frac{\text{MM}[\text{Ca(OH)}_2]}{\text{MM}[\text{CaCO}_3]} = 18,42 \times \frac{74,096}{100,09} = 13,64\%$$

$$\text{MM}_{\text{Ca(OH)}_2} = \text{M}_{\text{Ca}} + 2 \times \text{M}_{\text{O}} + 2 \times \text{M}_{\text{H}} = 40,08 + 2 \times 16 + 2 \times 1,008 = 74,096 \text{ g/mol}$$

##### Cálculo do teor de Mg(OH)<sub>2</sub> na amostra:

$$\begin{aligned} \text{teor[Mg(OH)}_2]\% &= \text{teor[Hidromagnesite]\%} \times \frac{\text{MM}[\text{Mg(OH)}_2]}{\text{MM}[\text{Hidromagnesite}]} + \text{teor[MgCO}_3]\% \times \frac{\text{MM}[\text{Mg(OH)}_2]}{\text{MM}[\text{MgCO}_3]} = \\ &= 10,54 \times \frac{58,321}{467,645} + 5,84 \times \frac{58,321}{84,315} = 5,36\% \end{aligned}$$

$$\text{MM}_{\text{Mg(OH)}_2} = \text{M}_{\text{Mg}} + 2 \times \text{M}_{\text{O}} + 2 \times \text{M}_{\text{H}} = 24,305 + 2 \times (16 + 1,008) = 58,321 \text{ g/mol}$$

##### Cálculo do traço ponderal aproximado com base em ATG:

$$\% \text{ Agregado} = 100\% - \%[\text{Ca(OH)}_2 + \text{Mg(OH)}_2] = 100 - 18,99 = 81,01\%$$

$$\text{Proporção do agregado relativamente ao ligante} = \frac{81,01\%}{18,99\%} = 4 \rightarrow (\text{lig:agreg}) 1:4$$

As curvas TG e dTG das análises termogravimétricas efetuadas às várias amostras de Coimbra, bem como os valores de perdas de massa considerados, encontram-se nas fichas de estudo dos anexos.

## 5. Apresentação e discussão de resultados

Na Tabela 5.8 encontram-se os valores de teor de cal hidratada, hidróxido de magnésio e agregado que estiveram na base do cálculo do traço ponderal aproximado das amostras de Coimbra com base na análise ATG.

Da comparação dos resultados da DRX com os da ATG verificou-se que nas amostras MMC5, MMC16 e MMC18 se detetou caulinite através da DRX; no entanto a sua presença na ATG não foi detetada, visto que a zona de decomposição da magnesite se lhe sobrepôs. Dessa forma, a perda de massa relativa à magnesite está calculada por excesso, influenciando o traço ponderal de cada uma dessas amostras, que na realidade será ligeiramente menos rico em ligante do que o estimado (amostras assinaladas com \*).

Tabela 5.8 - Traços ponderais calculados através de análise ATG para as amostras de Coimbra

Amostra	% Ca(OH) <sub>2</sub>	% Mg(OH) <sub>2</sub>	% Ca(OH) <sub>2</sub> + % Mg(OH) <sub>2</sub>	% Agregado	Traço ponderal
MMC1	13,64	5,36	18,99	81,01	1:4
MMC2	11,18	2,29	13,47	86,53	1:6
MMC3	22,06	5,95	28,01	71,99	1:3
MMC4	15,51	7,95	23,46	76,54	1:3
*MMC5	12,88	5,90	18,78	81,22	1:4 – 1:5
MMC6	12,14	3,63	15,77	84,23	1:5
MMC7	12,81	2,27	15,08	84,92	1:6
MMC8	19,88	2,24	22,12	77,88	1:4
MMC9	16,23	4,77	21,00	79,00	1:4
MMC10	13,28	2,99	16,28	83,72	1:5
MMC11	20,99	6,65	27,64	72,36	1:3
MMC12	20,79	6,90	27,70	72,30	1:3
MMC13	19,55	5,90	25,45	74,55	1:3
MMC14	28,99	3,77	32,76	67,24	1:2
MMC15	23,23	2,68	25,92	74,08	1:3
*MMC16	18,72	3,04	21,77	78,23	1:4 – 1:5
MMC17	6,94	2,73	9,66	90,34	1:2
*MMC18	18,81	6,58	25,38	74,62	1:3 – 1:4
MMC19	22,19	3,45	25,64	74,36	1:3
MMC20	12,27	2,49	14,76	85,24	1:6
MMC21	31,69	4,59	36,28	63,72	1:2

Notação utilizada: (\*) – Amostras com magnesite estimada por excesso.

### 5.3.3. Análise química

A análise química apenas foi realizada nas 8 amostras principais, por serem as que desde o início do estudo apresentaram uma maior quantidade disponível para análise, todas de Lisboa.

A percentagem de resíduo insolúvel obteve-se através da razão entre o peso final da amostra (após calcinação a 1000°C) e o peso inicial da amostra ( $p_{\text{inicial}}$ ), equação 5.10:

$$\%RI = \frac{p_{\text{final}}}{p_{\text{inicial}}} \times 100\% \quad (\text{equação 5.10})$$

A proporção de agregado na amostra relativamente à de ligante ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) foi calculada através da razão entre a %RI e a %  $\text{Ca(OH)}_2$  e dessa forma foi possível obter o traço ponderal, equação 5.11:

$$\text{Proporção do agregado relativamente ao ligante} = \frac{\%RI}{\%\text{Ca(OH)}_2} \quad (\text{equação 5.11})$$

Na Tabela 5.9 apresentam-se os resultados das percentagens de resíduo insolúvel e o traço ponderal calculado pelo ataque ácido. Foi efetuado um duplicado do ensaio que confirmou os primeiros resultados.

Tabela 5.9 - Processo de cálculo do traço ponderal com base na %RI obtida por ataque ácido das amostras

Amostra	% RI	% Ca(OH) <sub>2</sub>	%RI + % Ca(OH) <sub>2</sub>	Fração Solúvel	Traço ponderal
TAV1	85,30	7,96	93,26	6,74	1:11
TAV2	80,64	11,13	91,79	8,21	1:7
TAV3	84,71	7,56	92,17	7,83	1:11
TAV4	73,69	15,24	88,80	11,20	1:5
CAS	66,25	22,64	88,89	11,11	1:3
HA1	67,70	21,28	88,73	11,27	1:3
IMD	69,43	19,95	89,38	10,62	1:3
RL1	55,22	30,74	85,96	14,04	1:2

Desta tabela pode verificar-se que a soma do resíduo insolúvel com o ligante não perfaz 100%, havendo em todos os casos uma percentagem que não corresponde nem a agregado nem a ligante, denominada fração solúvel. Essa fração corresponde a compostos solúveis (como o gesso ou a hidrocálumite, ambos detetados em algumas das amostras em questão) ou compostos amorfos, solúveis em ácido, mas não detetáveis em DRX, que no cálculo do traço ponderal por ATG foram, por aproximação, tomados como agregado através da equação 5.3, resultando em traços ponderais aproximados, como se havia referido. Mas fazendo uma média das frações solúveis obtidas através do ataque ácido, verifica-se que correspondem aproximadamente a 10,13% da massa da amostra. Descontando-se essa percentagem nos cálculos das % Agregado estimadas para as amostras de Lisboa, obtém-se um novo traço mais próximo da realidade. Na Tabela 5.10 apresenta-se a comparação entre os traços aproximados obtidos por ATG e os traços após análise química, traços obtidos diretamente pelo ataque ácido (8 amostras sujeitas a este ensaio) ou corrigidos pelo desconto da fração solúvel estimada (nas restantes de Lisboa).

Tabela 5.10 - Comparação dos traços ponderais com base em análise ATG e ataque ácido

Amostra	Traço aprox. ATG	Traço corrig. AQ
ARQ1	1:8	1:7
ARQ2	1:2	1:2
ARQ3	1:4	1:3
ARQ4	1:3	1:3
HM1	1:3	1:2
HM2	1:3	1:2
PL	1:2	1:1
TAV1	1:12	1:11
TAV2	1:8	1:7
TAV3	1:12	1:11
TAV4	1:6	1:5
CAS	1:3	1:3
HA1	1:4	1:3
HA2	1:5	1:4
HA3	1:3	1:3
IMD	1:4	1:3
RL1	1:2	1:2
RL2	1:2	1:2
FR	1:7	1:6

Note-se que esta correção não foi aplicada às argamassas de Coimbra pois não existia referencial para estimar uma fração solúvel a descontar nesses casos em que as argamassas são dolomíticas. No entanto, se hipoteticamente fosse possível efetuar essa correção, é lícito afirmar que a consequência seria aumentar o traço em termos de ligante.

#### 5.4. Microscopia Eletrônica de Varrimento (MEV)

Uma das principais razões para a realização da microscopia eletrônica de varrimento foi a necessidade de aferir se os traços calculados pela análise ATG, posteriormente acertados através do ataque com ácido clorídrico, não estariam a ter em conta, erradamente, ligante de cal ao invés de agregado calcário. Apenas foi possível efetuar esta confirmação em 4 das amostras, nomeadamente TAV2, TAV4, HA1 e IMD. No entanto, para todas elas se confirmou que os traços anteriormente calculados não estavam adulterados e que os agregados são inquestionavelmente siliciosos, apresentando bastante quartzo (identificado com 1) e feldspatos (identificados com 2) (Figuras 5.13 e 5.14). Foram também visíveis em alguns casos grãos de cal (identificado com 3). Com esta confirmação, é seguro afirmar que o teor dos carbonatos presentes nas amostras deriva essencialmente do ligante.

Verificam-se também as composições mineralógicas definidas pela análise DRX, nomeadamente o quartzo e os feldspatos como agregados principais nas amostras TAV2, TAV4 e HA1 e uma menor quantidade de feldspatos na amostra IMD, sendo nesse caso o quartzo o agregado maioritário.

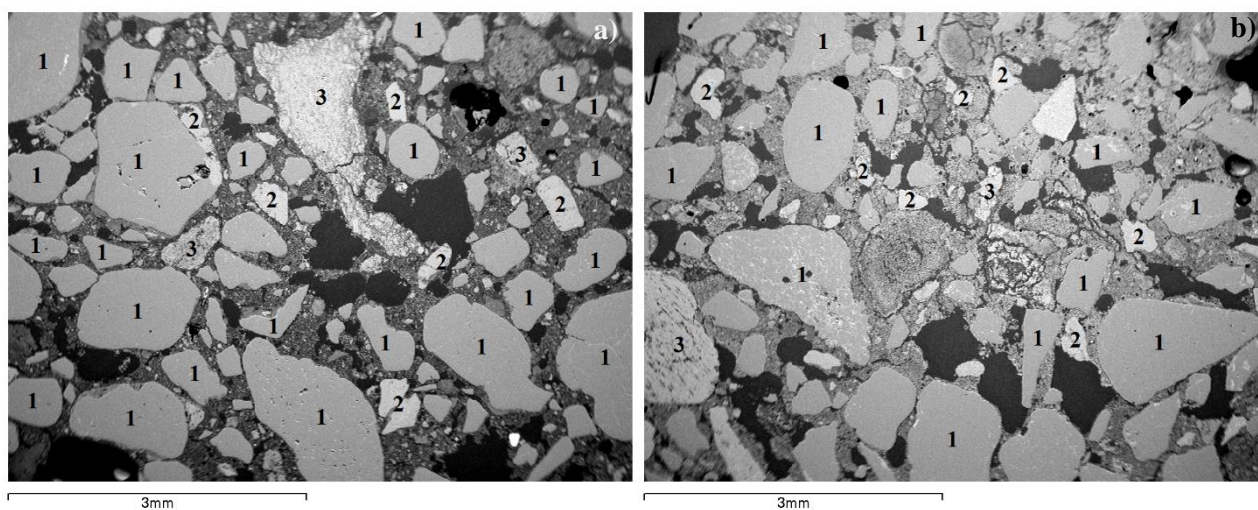


Figura 5.13 - Microestruturas das amostras TAV2 (a) e TAV4 (b) obtidas por MEV

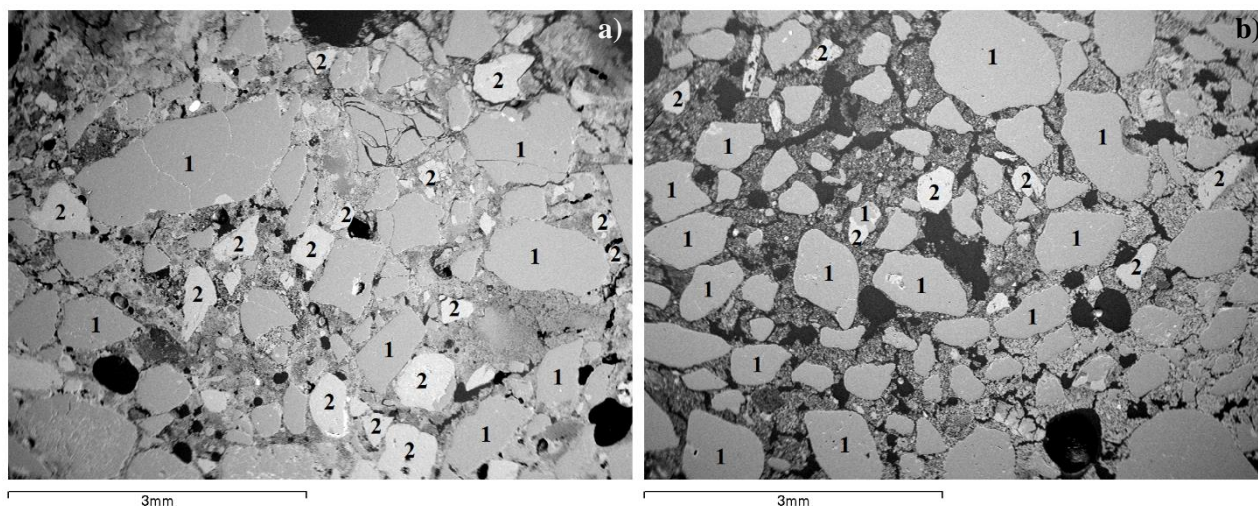


Figura 5.14 - Microestruturas das amostras HA1 (a) e IMD (b) obtidas por MEV

A observação da microestrutura das amostras é também importante para verificar a diferença entre as porosidades das amostras e correlacioná-la com os resultados obtidos na análise físico-mecânica.

Dos ensaios de resistência à compressão verificou-se que a amostra TAV4 apresentou uma resistência inferior ( $1,89 \text{ N/mm}^2$ ) à amostra HA1 ( $3,34 \text{ N/mm}^2$ ). Um dos fatores que poderá estar na base desta diferença é precisamente a diferença de porosidades visível entre a Figura 5.13b e Figura 5.14a,

verificando-se que TAV4 é bastante mais porosa que a amostra HA1 cuja microestrutura se apresenta bastante compacta. Também os resultados obtidos no ensaio de porosidade aberta vão ao encontro do referido, uma vez que a amostra TAV4 apresenta uma percentagem de poros abertos superior (29%) à da amostra HA1 (26%).

### 5.5. Síntese da caracterização físico-mecânica e químico-mineralógica

A Tabela 5.11 reúne os principais resultados obtidos através dos ensaios de caracterização física, mecânica, química e mineralógica das diferentes amostras em análise. As amostras encontram-se organizadas cronologicamente.

Verificaram-se algumas tendências ao nível do comportamento físico-mecânico das amostras, entre elas o facto de, a traços mais fracos, corresponderem resistências à compressão mais baixas e vice-versa (valor médio  $2,03 \text{ N/mm}^2$ ). Em alguns casos, como a amostra TAV4, a presença de alguns minerais argilosos na sua composição pode ter contribuído também para um ligeiro aumento da resistência da amostra. Comparando os traços às percentagens de poros abertos das amostras (valor médio 28,3%) também se constata que as amostras com maior porosidade aberta são as que possuem traços mais fracos. Por outro lado, maiores resistências à compressão correspondem a uma percentagem menor de poros abertos e vice-versa. Por último, também se verificou que maiores percentagens de poros abertos correspondem a maiores coeficientes de capilaridade (valor médio  $1,80 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ ) e vice-versa. É de referir que nenhuma destas tendências segue uma proporcionalidade direta, verificando-se pontualmente exceções à regra. As elevadas TS1 (valor médio  $0,0020 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ ) e baixas TS2 (valor médio  $0,0672 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ ) das amostras TAV1 e IMD levam a crer que estas amostras sejam constituídas maioritariamente por macroporos, ao contrário das amostras CAS e RL1 cuja baixa TS1 e elevada TS2 poderá indicar predominância de microporos nessas amostras. Verificou-se ainda que existe uma relação direta entre o Ccc e a TS1 das amostras, dado que de um modo geral quanto maior o Ccc maior a TS1 e vice-versa.

Comparando-se os resultados obtidos na campanha experimental com os resultados de argamassas de assentamento de azulejo recolhidos da literatura (Tabela 3.2), referentes aos séculos XVI a XX, constata-se que, em média, os coeficientes de capilaridade de ambos os casos são muito semelhantes,  $1,40 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$  e  $1,37 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ , respetivamente. Já o valor médio de resistência à compressão das mesmas amostras ( $2,03 \text{ N/mm}^2$ ) é ligeiramente superior à resistência média da recolha bibliográfica ( $1,67 \pm 0,08 \text{ N/mm}^2$ ). Também o valor de módulo de elasticidade dinâmico por ultrassons obtido ( $3674 \pm 437 \text{ N/mm}^2$ ), apesar de se tratar do resultado de apenas uma amostra (a única que reunia condições para a realização desse ensaio), é bastante superior ao valor médio recolhido da literatura ( $1610 \text{ N/mm}^2$ ). Por outro lado, efetuando a média dos traços das amostras analisadas na presente dissertação (1:4), verifica-se que é o mesmo que o traço médio das amostras de argamassa de assentamento de azulejo mais frequentes na literatura. Ao nível da composição, as amostras da literatura são na grande maioria típicas de cal aérea calcítica e agregado silicioso, por vezes combinados com alguns minerais argilosos e fragmentos cerâmicos, apresentando nesses casos, silicatos e silicoaluminatos de cálcio hidratados. Apenas uma amostra de Santarém e três do Porto apresentaram cal aérea dolomítica. Já as amostras testadas na presente dissertação revelaram uma tendência clara: amostras de Lisboa são típicas de cal aérea calcítica e agregados siliciosos combinados com alguns minerais argilosos; amostras de Coimbra são típicas de cal aérea dolomítica e agregados siliciosos combinados com uma grande quantidade de minerais argilosos, justificando a presença frequente de aluminatos de cálcio hidratados na sua composição. Note-se que a presença de cal aérea dolomítica nas argamassas antigas da região de Coimbra já havia sido referida como uma tendência verificada a partir do século XII, que ganhou mais força a partir dos séculos XVI e XVII, na análise das Tabelas 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5. Apesar das diferenças de composição de uma região para a outra, a média dos traços obtidos nas duas regiões é idêntica, de 1:4.

Quer na literatura, quer na campanha experimental realizada, a presença de gesso também foi detetada em alguns casos, podendo este ter sido introduzido propositadamente, resultado de uma contaminação por sulfatos ou com gesso dos estuques.

Efetuiu-se ainda uma comparação entre as argamassas de cal aérea antigas recolhidas da literatura e analisadas no capítulo 2, selecionando-se para esta análise apenas os valores do século XVI em diante (Tabelas 2.3, 2.4 e 2.5), contemporâneos das amostras ensaiadas nesta dissertação. Através dessa comparação verificou-se que as argamassas antigas de cal recolhidas na literatura apresentam maior resistência à compressão ( $2,32 \text{ N/mm}^2$ ) e menor absorção de água por capilaridade ( $1,02 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ ); no entanto apresentam um traço em massa ligeiramente mais fraco em ligante (1:5). Apesar das diferenças, verifica-se uma grande proximidade de resultados.

Não foi possível tipificar as argamassas de assentamento de azulejo em termos de épocas cronológicas, verificando-se uma grande diversidade nas formulações e características deste tipo de argamassas entre os séculos XVI e XX.

Tipificando por tipo de edifícios, registaram-se traços mais fracos para edifícios do tipo residencial/palacete (1:5 a 1:11), à exceção do obtido para o Regimento dos Lanceiros nº2 (1:2) cuja argamassa se revelou muito mais compacta e resistente. Os edifícios do tipo religioso apresentam os traços de 1:3 e 1:4, traço mais forte em ligante que poderá ter sido utilizado propositadamente por se tratar do assentamento de azulejos em edifícios do tipo religioso. Esta tendência havia já sido verificada no decorrer da análise efetuada nas Tabelas 2.1 a 2.5 de argamassas antigas de cal aérea.

Tabela 5.11 – Caracterização das argamassas de assentamento de azulejo antigas em análise

Caso de Estudo/ Época / Tipo de Edifício	Amostra	Composição da argamassa	Traço ponderal Lig:Ag	Outros compostos presentes	Rc N/mm <sup>2</sup>	E <sub>dus</sub> N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	TS1 kg/(m <sup>2</sup> .min)	TS2 kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	P <sub>ab</sub> %
Escavações arqueológicas, Lisboa/XVI/?	ARQ1	Cal aérea calcítica: agregado silicioso com minerais argilosos	1:7	-	-	-	-	-	-	-
	ARQ2		1:2		-	-	-	-	-	-
	ARQ3		1:3		-	-	-	-	-	-
	ARQ4		1:3		-	-	-	-	-	-
Azulejos hispano-mouriscos/XVII/?	HM1	Cal aérea calcítica: agregado silicioso com minerais argilosos	1:2	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-
	HM2		1:2		-	-	-	-	-	-
Painel de azulejos, fabrico Lisboa/XVII/?	PL	Cal aérea calcítica: agregados siliciosos	1:1	Gesso?	-	-	-	-	-	-
Travessa André Valente, nº13, Lisboa/XVII-XVIII/Palacete	TAV1	Cal aérea calcítica: agregado silicioso com minerais argilosos	1:11	Gesso	0,62	-	2,91	0,0024	0,0603	28,5
	TAV2		1:7	-	-	-	0,27	0,0019	0,0508	26,0
	TAV3		1:11	Hidrocalumite, gesso	-	-	2,59	0,0024	0,0674	29,0
	TAV4		1:5	-	1,89	3674±437	1,51	0,0011	0,0443	29,0
Capela do Antigo Sanatório da Flamenga, Vialonga, Lisboa/XVII-XVIII/Religioso	CAS	Cal aérea calcítica: agregado silicioso com vestígios de minerais argilosos	1:3	-	1,63	-	1,91	0,0019	0,1015	36,0
Hospital de Arroios, Lisboa/XVIII/Serviços-Religioso	HA1	Cal aérea calcítica: agregado silicioso com minerais argilosos (HA2 e HA3)	1:3	-	3,34	-	2,54	0,0028	0,0796	26,0
	HA2		1:4		-	-	-	-	-	-
	HA3		1:3		-	-	-	-	-	-
Convento da Igreja da Madre de Deus, Lisboa/XVIII/Religioso	IMD	Cal aérea calcítica: agregados siliciosos	1:3	-	-	-	1,56	0,0022	0,0652	28,0
Painel "Monte Sião", Coimbra/XVIII/?	MMC1	Cal aérea dolomítica: agregado silicioso com minerais argilosos	1:4	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-
Painel cod.A, Coimbra/XVIII/?	MMC2	Cal aérea dolomít.: agreg. silic. com muitos minerais argilosos	1:6	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-

## 5. Apresentação e discussão de resultados

Tabela 5.11 – Caracterização das argamassas de assentamento de azulejo antigas em análise (cont.)

Caso de Estudo/ Época / Tipo de Edifício	Amostra	Composição da argamassa	Traço ponderal Lig:Ag	Outros compostos presentes	Rc N/mm <sup>2</sup>	E <sub>du</sub> s N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	TS1 kg/(m <sup>2</sup> .min)	TS2 kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	P <sub>ab</sub> %
Painel 4 paisagem, Coimbra/XVIII/?	MMC3	Cal aérea dolomítica: agregado silicioso com minerais argilosos	1:3	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-
Painel "Apocalipse", Coimbra/XVIII/?	MMC4	Cal aérea dolomítica: agregado silicioso com minerais argilosos (grande quantidade em MMC5)	1:3	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-
	MMC5		1:4-1:5	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-
	MMC6		1:5	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-
	MMC7		1:6	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-
	MMC8		1:4	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-
Painel cod.3, Coimbra/XVIII/?	MMC9	Cal aérea dolomítica: agregado silicioso com minerais argilosos	1:4	Alum. de cálcio hid.?	-	-	-	-	-	-
Painel 3, Coimbra/XVIII/?	MMC10	Cal aérea dolomítica: agregado silicioso	1:5	Alum. de cálcio hid.?	-	-	-	-	-	-
Regimento dos Lanceiros, Ajuda-Belém, Lisboa/XVIII-XIX/Palacete	RL1	Cal aérea calcítica: agregados siliciosos	1:2	-	2,68	-	1,11	0,0013	0,0685	23,5
	RL2		1:2	-	-	-	-	-	-	-
Edifício em Santa Apolónia, Lisboa/XIX/Residencial	FR	Cal aérea calcítica: agregados siliciosos	1:6	-	-	-	-	-	-	-
Painel "Triunfo da Religião", Coimbra/?/?	MMC11	Cal aérea dolom.: agreg. silic. com minerais argilosos (grande quantidade em MMC11 e MMC12)	1:3	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-
	MMC12		1:3	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-



Tabela 5.11 – Caracterização das argamassas de assentamento de azulejo antigas em análise (cont.)

Caso de Estudo/ Época / Tipo de Edifício	Amostra	Composição da argamassa	Traço ponderal Lig:Ag	Outros compostos presentes	Rc N/mm <sup>2</sup>	E <sub>du</sub> N/mm <sup>2</sup>	Ccc kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	TS1 kg/(m <sup>2</sup> .min)	TS2 kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	P <sub>ab</sub> %
Painel "Triunfo da Religião", Coimbra/?/? (cont.)	MMC13	(cont.)	1:3	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-
Painel cod.F, Coimbra/?/?	MMC14	Cal aérea dolomítica: agregado silicioso com minerais argilosos	1:2	Alum. de cálcio hid.?	-	-	-	-	-	-
	MMC15		1:3	Alum. de cálcio hid.?	-	-	-	-	-	-
Painel "O homem da gaita de foles", Coimbra/?/?	MMC16	Cal aérea dolomítica: agregado silicioso com minerais argilosos	1:4-1:5	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-
	MMC17		1:2	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-
Painel cod.13, Coimbra/?/?	MMC18	Cal aérea dolomítica: agregado silicioso com minerais argilosos	1:3-1:4	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-
	MMC19		1:3	Alum. de cálcio hid.?	-	-	-	-	-	-
Painel, Coimbra/?/?	MMC20	Cal aérea dolomítica: agregado silicioso com minerais argilosos	1:6	Alum. de cálcio hid.	-	-	-	-	-	-
Painel "Simbologia Mariana", Coimbra/?/?	MMC21	Cal aérea dolomítica: agregado silicioso com minerais argilosos	1:2	Alum. de cálcio hid.?	-	-	-	-	-	-

Notação utilizada: (?) Dúvida; (-) – Não identificado.



## 6. CONCLUSÕES

### 6.1. Considerações Finais

Num momento em que a construção de novas obras se encontra num período de menos desenvolvimento, o setor da construção civil tem-se direcionado para a reabilitação de edifícios e, embora em menor escala, tem também abrangido a conservação do património edificado, à semelhança do que tem vindo a suceder noutros países desenvolvidos. Estas intervenções abrangem não só a componente estrutural do edifício, mas também todas as tecnologias de revestimento que o constituem.

Um dos revestimentos mais típicos de Portugal é o revestimento azulejar. Trata-se de um revestimento extremamente valioso, não só pelas suas funções estéticas e decorativas, potenciadoras do setor turístico português, mas também por se tratar de um revestimento extremamente durável e de fácil manutenção, quando bem aplicado.

O revestimento azulejar é composto pelo azulejo, constituído por vidrado, chacota (ou biscoito) e tardo, que é colado ao suporte por meio da argamassa de assentamento, elemento fundamental e condicionador do bom funcionamento do revestimento como um todo. No entanto, a maioria dos estudos realizados a respeito deste tipo de revestimentos incide essencialmente na caracterização do azulejo propriamente dito e nos mecanismos de aderência argamassa/azulejo, desconsiderando-se a importância da caracterização das argamassas de assentamento de azulejo. Para que seja possível planejar de forma fundamentada uma intervenção de conservação de um revestimento azulejar, é indispensável conhecer em pleno as características de todos os componentes do sistema azulejar.

Partindo da regra base de uma investigação, para se poder formular uma matriz de conhecimentos bem fundamentada, que permita apoiar futuras intervenções na preservação e conservação dos revestimentos azulejares, procedeu-se na presente dissertação a uma recolha de informação tão exaustiva quanto possível acerca de características das argamassas de assentamento de azulejo antigas e complementou-se essa análise com a realização de uma campanha experimental de caracterização de um conjunto de 40 amostras provenientes de diferentes pontos geográficos de Lisboa e Coimbra, dos séculos XVI a XIX. A reunião dos dados recolhidos da literatura com os resultados obtidos na campanha experimental permitiu o cumprimento do primeiro e principal objetivo estipulado no início desta dissertação: a expansão de conhecimentos relativos aos revestimentos azulejares. Concluídas as caracterizações, procedeu-se ao cumprimento do segundo objetivo proposto, relativo à avaliação da possibilidade de tipificação das argamassas de assentamento de azulejo quanto às épocas, regiões e tipos de edifício.

Da exaustiva recolha bibliográfica realizada, foi possível apurar algumas características físico-mecânicas e químico-mineralógicas de argamassas de assentamento de azulejo antigas das regiões de Aveiro, Évora, Santarém e Porto, dos séculos XVI a XX. A maioria das amostras analisadas nessa recolha bibliográfica são argamassas de assentamento de azulejos de fachada, e por isso, localizadas no exterior. Da análise dos resultados recolhidos verificou-se que as argamassas possuem, em média, um traço de 1:4 em massa, uma resistência à compressão de  $1,67 \pm 0,08$  N/mm<sup>2</sup> e módulo de elasticidade dinâmico por ultrassons de 1610 N/mm<sup>2</sup>. Praticamente todas as argamassas eram típicas de cal aérea calcítica e agregado silicioso, salvo 4 amostras, uma de Santarém e três do Porto típicas de cal aérea dolomítica. Verificou-se a utilização de minerais argilosos em várias amostras e fragmentos cerâmicos em três casos de Aveiro, o que justificou a presença de silicatos e silicoaluminatos de cálcio hidratados na sua composição (produtos de reação pozolânica). A halite foi um produto de degradação detetado em muitos dos casos de estudo de fachadas de edifícios, especialmente por se tratar de regiões com um ambiente de exposição salino, propícias à formação deste tipo de composto. Também a anidrite e o gesso foram detetados em alguns edifícios do tipo residencial, podendo estes ter sido introduzidos intencionalmente ou resultado de uma contaminação por sulfatos. Não foi possível tipificar cronologicamente os casos de estudo em questão por haver uma grande variação na composição das argamassas dentro de um mesmo século, nem a nível de tipos de edifício por serem quase todas de edifícios residenciais.

A análise dos resultados da campanha experimental realizada na presente dissertação foi também efetuada de acordo com as épocas cronológicas, fazendo-se a distinção entre os resultados de Lisboa e de Coimbra e ainda uma breve análise quanto ao tipo de edifício a que pertencem. É de referir que, contrariamente aos casos da recolha bibliográfica, as amostras ensaiadas na campanha experimental diziam todas (pelo menos aquelas cuja identificação foi possível) respeito a argamassas de assentamento de azulejos interiores. Por serem as únicas amostras a reunir condições para tal, apenas foi possível ensaiar física e mecanicamente algumas amostras de Lisboa, pelo que os resultados daí decorrentes apenas dizem respeito a essa região. Assim, da análise desses resultados, contata-se que, em média, as argamassas de Lisboa apresentaram módulo de elasticidade dinâmico por ultrassons de  $3674 \pm 437 \text{ N/mm}^2$ , resistência à compressão de  $2,03 \text{ N/mm}^2$ , coeficiente de capilaridade por contacto de  $1,80 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ , taxa da primeira fase de secagem de  $0,0020 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ , taxa da segunda fase de secagem de  $0,0672 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$  e porosidade aberta de 28,3%. O traço médio das amostras de argamassa de assentamento de azulejos ensaiadas (englobando quer as de Lisboa, quer as de Coimbra) foi de 1:4 em massa. Comparando as argamassas de Lisboa com as de Coimbra, verificou-se que as primeiras são argamassas típicas de cal aérea calcítica com areia siliciosa e com alguns minerais argilosos. Já as argamassas de Coimbra são constituídas por cal aérea dolomítica com areia siliciosa contendo uma grande percentagem de minerais argilosos. Em termos de compostos presentes, foi notório o impacto do elevado teor de argilas nas amostras de Coimbra, pela presença de aluminato de cálcio hidratado em praticamente todas as amostras dessa região. Apesar das diferenças observadas constatou-se que, independentemente da região, o traço foi o mesmo: de 1:4 em massa. Comparando os valores obtidos com os resultados de argamassas de cal aérea antigas recolhidos da literatura, verifica-se que as amostras ensaiadas na presente dissertação apresentam menor resistência à compressão (na literatura os valores das argamassas de cal aérea antiga são  $2,32 \text{ N/mm}^2$ ) e um traço ligeiramente superior ao das argamassas de cal antigas recolhidas da literatura (1:5 em massa).

Apesar da pouca quantidade de amostras sujeitas a ensaios físico-mecânicos, foi possível correlacionar algumas das características apuradas nesses ensaios. Por exemplo, nas amostras com traços mais fracos em ligante registaram-se menores resistências à compressão e maior percentagem de porosidade aberta, não se verificando, no entanto, uma proporcionalidade direta por existirem exceções pontuais. Por outro lado, a valores mais altos de absorção capilar corresponderam maiores percentagens de poros abertos. Por último, algumas ilações podem ser retiradas relativamente ao tipo de poros das amostras com base nos resultados de secagem: amostras com elevada TS1 e baixa TS2 poderão ser constituídas maioritariamente de macroporos (TAV1 e IMD) ao contrário de amostras com baixa TS1 e elevada TS2 que poderão ser constituídas maioritariamente de microporos (CAS e RL1). Verificou-se ainda uma relação direta entre o Ccc e a TS1, dado que de um modo geral quanto maior o Ccc maior a TS1.

Comparando os valores da campanha experimental realizada aos das argamassas de assentamento de azulejos recolhidos na literatura, verifica-se uma grande semelhança em termos da absorção de água por capilaridade das amostras e uma proximidade entre os valores de resistência à compressão, ainda que o valor obtido seja ligeiramente superior. O módulo de elasticidade obtido diz respeito unicamente à amostra TAV4, a única que reunia condições para esse ensaio, e ainda que seja um valor isolado, sem margem para grandes ilações, é bastante superior ao verificado na literatura. Tal como referido, o traço médio, tanto dos casos da literatura como das amostras da campanha experimental, é o mesmo, de 1:4 em massa. Se for admitida uma baridade de  $1,5 \text{ kg/dm}^3$  para a areia e  $0,3 \text{ kg/dm}^3$  para a cal aérea, um traço em massa de 1:4 corresponde aproximadamente a um traço em volume de 1:1. Daqui se pode concluir que os traços utilizados em argamassas deste tipo são bastante ricos em ligante de cal aérea. Por outro lado, e conforme se havia mencionado anteriormente, comparar os resultados da literatura com os valores da campanha experimental acaba, neste caso, por ser a comparação também de resultados obtidos entre argamassas de assentamento de azulejos do exterior e interior, respetivamente, tendo presente obviamente que fatores como a diferença de épocas, tipos de edifício e região influenciam em parte as conclusões. Apesar disso, a comparação das características recolhidas para os dois casos revelou grandes semelhanças, especialmente ao nível do traço e do coeficiente de capilaridade, levando a crer que não era feita especial distinção na formulação de

argamassas de assentamento de azulejo para o interior e para o exterior. Para apurar a veracidade desta hipótese, será importante e pertinente realizar ensaios a argamassas de assentamento de azulejos aplicados tanto do exterior como do interior de um mesmo edifício, para que fatores como a diferença de época, região ou tipo de edifício, que entram na equação quando se comparam edifícios diferentes, não interfiram nas conclusões extraídas.

Da análise cronológica efetuada não foi possível tipificar as características das argamassas de século para século, constatando-se, uma vez mais, variações dentro dos mesmos séculos quanto ao traço, aos compostos presentes e às propriedades físico-mecânicas e químico-mineralógicas. Por último, agrupando os vários resultados por tipo de edifício, verificou-se que as argamassas provenientes de edifícios do tipo residencial/palacete apresentam traços mais fracos em ligante que as argamassas provenientes de edifícios do tipo religioso, seguindo a mesma tendência verificada na análise de amostras antigas de argamassa de cal aérea da literatura. A presença de gesso foi detetada, tal como nas argamassas de assentamento de azulejo da recolha bibliográfica, apenas em edifícios do tipo residencial, podendo ter sido introduzido intencionalmente, ser produto de reação com sulfatos ou resultar de contaminação com o gesso de estuques.

Tendo presente que para conclusões mais sólidas seria necessário analisar mais amostras de vários pontos do mesmo edifício, a recolha bibliográfica reunida com os resultados obtidos leva a crer que as formulações de argamassas de assentamento de azulejo antigas não seguem um padrão cronológico, mas dependem de região para região, provavelmente pela utilização de materiais locais na formulação da argamassa e, provavelmente, da experiência dos próprios aplicadores. Também a diferenciação de resultados obtidos mediante o tipo de edifício leva a crer que os profissionais executantes deste tipo de argamassa adaptavam a formulação da argamassa ao tipo de edifício a que se destinava, com especial reforço do teor de ligante nas argamassas de assentamento de azulejos de edifícios religiosos.

## 6.2. Propostas para desenvolvimento futuro

Embora sempre limitado por condicionantes de amostragem, devido ao valor dos revestimentos azulejares antigos, no seguimento do trabalho de caracterização de argamassas de assentamento de azulejo antigas realizado, considera-se ser de interesse futuro a continuação da caracterização de argamassas deste tipo com os seguintes pressupostos:

- Aferir a estrutura porosimétrica das amostras estudadas.
- Recolher e analisar amostras de diferentes pontos de um mesmo painel para que as conclusões extraídas possuam uma base mais sólida.
- Caracterizar argamassas de assentamento de azulejo antigas do exterior e interior de um mesmo edifício para verificar se existe distinção na formulação dessas argamassas.
- Alargar o universo de amostragem: caracterizar mais argamassas de assentamento de azulejos de cada época, de modo a poder tirar mais conclusões sobre a diversidade de características.
- Alargar o estudo a mais regiões do país para verificar a relevância das variações na formulação das argamassas de região para região.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAVV (1900). A Construção Moderna. Revista Quinzenal Ilustrada, 6, Lisboa.
- Adriano, P., Silva, A. S., Veiga, R., Mirão, J., Candeias, A. E. (2007a). Microscopic characterisation of old mortars from the Santa Maria Church in Évora. In: 11th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, Porto, Portugal.
- Adriano, P., Cruz, T., Silva, A. S., Veiga, R., Candeias, A., Mirão, J. (2007b). Mineralogical comparison study of old mortars from southern Portugal cathedrals (Évora and Elvas). *Materiais*, University of Oporto.
- Adriano, P., Silva, A. S., Veiga, R., Mirão, J., Candeias, A. E. (2009). Microscopic characterisation of old mortars from the Santa Maria Church in Évora. *Materials Characterization*, 60 (7):610-620. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchar.2008.11.008>
- Aguiar, J., Antunes, J., Pincho, I. (1996). O Tratamento de Azulejos em Obras de Reabilitação. Contributos para um vídeo para formação de operários, CENFIC, Lisboa.
- Aguiar, J. (2001). A cor e a cidade histórica. Porto: Publicações FAUP: 641.
- Alarcão, J. (1978). Argamassas na Antiguidade. In: «História», N°2, Lisboa, Pró jornal: 20-24.
- Alcântara, D. (1997). Azulejos na cultura luso-brasileira. IPHAN, Rio de Janeiro.
- Alcântara, D. (1980). Azulejos portugueses em São Luís do Maranhão. Fontana-Fundação Luiz La Saigne, Rio de Janeiro.
- Alvarez, J.I., Navarro, I., Martín, A., Casado, P. J. G. (2000). A study of the ancient mortars in the north tower of Pamplona's San Cernin church. *Cement and Concrete Research*, 30(9):1413-1419. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00325-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00325-2)
- Alvarez, J., Sequeira, C., Costa, M. (2005). Ensinaamentos a retirar do passado histórico das argamassas. In: 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa.
- Andrejkovičová, S., Pires, D., Ferreira, L.M., Velosa, A. L.; Rocha, F., Labrincha, J. (2012). Caracterização química e mecânica de argamassas de Ovar. In: Congresso Internacional Azulejar - Conservação de Revestimentos Azulejares em Fachadas, Universidade de Aveiro, Portugal: 1-11.
- Appleton, J. (2011). Reabilitação de Edifícios Antigos. Patologias e tecnologias de intervenção. Edições ORION, Lisboa, 2ª edição, Novembro de 2011: 125-126.
- Arandigoyen, M., Alvarez, J. I. (2006). Blended pastes of cement and lime: pore structure and capillary porosity. *Applied Surface Science*, 252:8077-8085, doi: 10.1016/j.apsusc.2005.10.019.
- Bakolas A., Aggelakopoulou E., Moropoulou A., Anagnostopoulou S. (2006). Evaluation of pozzolanic activity and physic-mechanical characteristics in metakaolin-lime pastes. *Journal of Thermal Analysis Calorimetry*, 84(1):157-163. DOI: 10.1007/s10973-005-7262-y
- Borges, C., Silva, A. S., Veiga, R., Borsoi, G. (2013). Historical Heritage: A Study to Conservation. *Materials Science Forum*, 730-732:604-610. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.730-732.604
- Borges, C., Silva, A. S. Veiga, M. R. (2014). Durability of ancient lime mortars in humid environment. *Construction and Building Materials*, 66:606-620. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.019>
- Borsoi, G., Silva, A. S., Menezes, P., Candeias, A., Mirão, J. (2010). Chemical, Mineralogical and Microstructural Characterization of Historical Mortars from the Roman villa of Pisões, Beja, Portugal. In: HMC2010 2nd Historic Mortars Conference and RILEM TC 203-RHM Final Workshop 22-24 September 2010, Prague, Czech Republic.
- Botas, S., Veiga, M. R., Velosa, A. L. (2012). Mecanismo de aderência na interface azulejo/argamassa. In: 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, Coimbra.
- Botas, S., Veiga, M. R., Velosa, A. L. (2014). Reapplication mortars for old tiles: characteristics of tiles and mortars and selection criteria. *International Journal of Architectural Heritage*, 8(1):124-139.
- Boyton, R. S. (2008). Chemistry and technology of lime and limestone, 2ª edição, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, John Wiley & Sons, Inc., 1980.
- Cajado, F. (2016). Importância do uso de argamassa de cal na restauração de fachadas revestidas por azulejos fabricados no final do século XIX e início do século XX. Projeto de pesquisa do trabalho de diplomação, Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Candeias, A. E., Nogueira, P., Mirão, J., Silva, A. S., Veiga, R., Casal, M. G., Ribeiro, I., Seruya, A.I. (2006). Characterization of ancient mortars: present methodology and future perspectives. In: Workshop on Chemistry in the Conservation of Cultural Heritage: present and future perspectives, Perugia, Italy.

- Carasek, H., Japiassú, P., Cascudo, O., Velosa, A. (2014). Bond between 19th Century lime mortars and glazed ceramic tiles. *Construction and Building Materials*, 59:85-98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.043>
- Carta de Cracóvia de 2000, publicado em <http://www.patrimoniocultural.pt/media/uploads/cc/cartadecracovia2000.pdf>
- Cavalcanti, C. (1963). *História das artes: curso elementar I. Pré-história – Antiguidade*. J. Ozon Editor, Rio de Janeiro.
- Cavalcanti, S. T. H. (2002). *O azulejo na arquitetura civil de Pernambuco, século XIX*. Metalivros, São Paulo.
- Charola, A. E., Faria-Rodrigues, P., McGhie, A. R., Henriques, F.M.A. (2005). Pozzolan components in lime mortars: correlating behavior, composition and microstructure. *Restoration of Buildings and Monuments*, 11(2): 111-118. DOI: 10.1515/rbm-2005-5942
- Cizer, Ö. (2009). Competition between carbonation and hydration on the hardening of calcium hydroxide and calcium silicate binders. PhD Thesis in Civil Engineering, Leuven, Catholic University of Leuven.
- Chatterjee, A. (2000). “X-Ray Diffraction”, *Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology*, William Andrew Publishing, LLC: 275-332.
- Coroado, J., Paiva, H., Velosa, A., Ferreira, V. M. (2010). Characterization of renders, joint mortars and adobes from traditional constructions in Aveiro (Portugal). *International Journal of Architectural Heritage*, 4:102-114. <http://dx.doi.org/10.1080/15583050903121877>
- Corona, E., Lemos, C. A. C. (1989). *Dicionário da arquitetura brasileira*. 2ed., Art Show Books, São Paulo.
- Cristelo, N. (2001). Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho.
- Damas, A. L., Veiga, M. R., Faria, P. (2016). Caracterização de argamassas antigas de Portugal – contributo para sua correta conservação. In: Congresso Ibero-Americano “Património, suas Matérias e Imatérias”. LNEC, Lisboa.
- Davidovits, F. (1995). *Les Mortiers de pouzzolanes artificielles chez Vitruve. Evolution et historique architecturale*. Thèse de D. E. A. Université Paris X-Nanterre, Geopolymer Institute, Sain-Quentin, France.
- Durbin, L. (2005). *Architectural Tiles: Conservation and Restoration. From the Medieval Period to the Twentieth*. Butterworth-Heinemann, Elsevier, London.
- EN 16322:2013, CEN (2013). *Conservation of cultural heritage- Test, methods – Determination of drying properties*. Brussels, CEN.
- Faria, P. (2004). Argamassas de revestimentos para alvenarias antigas. Contribuição para o estudo da influência dos ligantes. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, FCT-UNL, Monte da Caparica.
- Faria, P., Henriques, F., Rato, V. (2008). Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation. *Journal of Cultural Heritage*, 9(3):338-346. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2008.03.003>
- Ferreira, M. I. M. (2008). Revestimentos azulejares Oitocentistas de fachada, em Ovar. Contributos para uma Metodologia de Conservação e Restauro. Tese de mestrado em Recuperação do património arquitetónico e paisagístico, Universidade de Évora.
- Ferreira, M. I. M. (2009). Azulejos tradicionais de fachada, em Ovar. Contributos para uma metodologia de conservação e restauro. Câmara municipal de Ovar / ACRA – Atelier de Conservação e Restauro do Azulejo.
- Gameiro, A., Silva, A. S., Faria, P., Grilo, J., Branco, T., Veiga, R., Velosa, A. (2014). Physical and chemical assessment of lime–metakaolin mortars: Influence of binder: aggregate ratio. *Cement and Concrete Composites*, 45:264-271. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.06.010>
- Genestar, C., Pons, C., Más, A. (2006). Analytical characterisation of ancient mortars from the archaeological Roman city of Pollentia (Balearic Islands, Spain). *Analytica Chimica Acta*, 557(1, 2):373-379. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2005.10.058>
- Gonçalves, T. D., Pel, L., Rodrigues, J. D. (2009). Influence of paints on drying and salt distribution processes in porous building materials. *Construction and Building Materials*, 23:1751-1759. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2008.08.006
- Gonçalves, T. D., Brito, V., Musacchi, J. (2014). The whole and the parts: Can lime coatings enhance the drying of salt laden materials? *Construction and Building Materials*, 57:179-189, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.007>
- Grilo, J. (2013). Caracterização de argamassas de cal hidráulica natural NHL 3.5 de fabrico nacional. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FCT-UNL, Monte da Caparica.
- Henriques, F. M. A. (1996). “Gesso”. *Apontamentos de Materiais de Construção*. Departamento de Engenharia Civil, FCT-UNL, Monte da Caparica.
- Japiassú, P. (2011). Estudo do mecanismo de aderência de azulejos e argamassas de cal em revestimentos históricos. Dissertação de Mestrado em Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.



- Japiassú, P., Carasek, H., Cascudo, O., Velosa, A. L., Oliveira, M. C. B., Chotoli, F. F., Quarcioni, V. A. (2014). Caracterização da interface azulejo/argamassa de fachadas históricas. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción (ALCONPAT)*, 4(1):52-73. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v4i1.61>
- Lawrence, R. M. H., Mays, T. J., Walker, P. and D'Ayala, D., (2006). Determination of carbonation profiles in non-hydraulic lime mortars using thermogravimetric analysis. *Thermochimica Acta*, 444 (2):179-189.
- Leitão, L. A. (1896). *Curso elementar de construções*. Lisboa: Imprensa Nacional :269-270.
- LNEC (2015) - Fe Pa 40- Revestimentos de paredes. Ensaio de absorção de água por capilaridade para amostras irregulares e friáveis. Lisboa: LNEC, NRI.
- LNEC (2015) - Fe Pa 42- Revestimentos de paredes. Ensaio de resistência à compressão para amostras irregulares. Lisboa: LNEC, NRI.
- LNEC (2015) - Fe Pa 43- Revestimentos de paredes. Ensaio de avaliação de características mecânicas por ultrassons. Lisboa: LNEC, NRI.
- LNEC (2015) - Fe Pa 44- Revestimentos de paredes. Determinação da porosidade aberta e das massas volúmicas aparente e real. Lisboa: LNEC, NRI.
- Lucas, S., Velosa, A. L., Aguiar, J. L., Ferreira, V. M. (2012). Papel de nano-aditivos na funcionalização de argamassas. In: 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, APFAC.
- Magalhães, A. C.; Veiga, M. R.; Costa, D. (2005). Caracterização do estado de conservação de revestimentos de paredes antigas através de ensaios "in situ". Dois casos de estudo. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (SBTA), Florianópolis, Brasil.
- Magalhães, A. C.; Veiga, M. R. (2006). Avaliação da resistência de amostras de argamassas históricas recolhidas em obra. Metodologia e correlação de resultados. Lisboa: LNEC. Relatório 259/06 - NRI.
- Magalhães, A. C.; Veiga, M. R. (2009). Caracterización física y mecánica de los morteros antiguos. Aplicación a la evaluación del estado de conservación. *Materiales de Construcción*, Instituto Eduardo Torroja, 59(295): 61-77. DOI: 10.3989/mc.2009.41907
- Margalha, G., Veiga, M. R.; Brito, J. (2006). Algumas vantagens do uso da cal em pasta em revestimentos. In: 2º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto.
- Margalha, M. G. (2011). "Argamassas". Documento de apoio às aulas de Conservação e Recuperação do Património. Évora: Universidade de Évora.
- Mariz Ferreira, L. (2009). O Azulejo na arquitetura da cidade do Porto (1850-1920): Caracterização e intervenção. Tese de Doutoramento, Facultad de Bellas Artes, Universidad del Pais Vasco, Bilbao, Espanha.
- Mateus, L.; De Brito, J.; Veiga, M. R. (2014). Characterisation of external renderings of rammed earth construction in Algarve. In: *Earthen Architecture: past, present and future*. International Conference on Vernacular Heritage, Sustainability and Earthen Architecture, Valencia, Spain.
- Matias, G.; Faria, P.; Torres, I. (2014). Lime mortars with heat treated clays and ceramic waste: A review. *Construction and Building Materials*, 73:125-136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.028>
- Mendes, M. T. (2008). Conservação e restauro de azulejo - Estudo de argamassas de reassentamento. Dissertação de Mestrado em Química Aplicada ao Património Cultural, Departamento de Química e Bioquímica, FCUL, Lisboa.
- Mendes, M. T., Antunes, J. L. F., Coroado, J. (2008). Conservation and restoration of glazed tiles. A study of setting mortars. In: HMC08, 1st Historical Mortars Conference, LNEC, CD.
- Mendes, M. T. (2015). Conservação e restauro de azulejo: metodologias de intervenção vs indicadores de compatibilidade. Tese de Doutoramento em Química, Universidade de Évora.
- Mimoso, J. M., Pereira S. R. M. (2011). Sobre a degradação física dos azulejos de fachada de Lisboa, Relatório LNEC 303, DM-NPC, Lisboa.
- Navrátilová, E.; Rovnaníková, P. (2016). Pozzolan properties of brick powders and their effect on the properties of modified lime mortars. *Construction and Building Materials*, 120:530-539. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.062>
- NP EN 12004:2007+A1:2014. Colas para ladrilhos – Requisitos, avaliação da conformidade, classificação e designação. Almada: IPQ.
- Papayianni, I., Stefanidou, M. (2007). Durability aspects of ancient mortars of the archeological site of Olynthos. *Journal of Cultural Heritage*, 8(2):193-196. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2007.03.001>

- Papayianni, I., Pachta, V., Stefanidou, M. (2013). Analysis of ancient mortars and design of compatible repair mortars: The case study of Odeion of the archaeological site of Dion. *Construction and Building Materials*, 40:84-92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.086>
- Pimenta, P. (2014). Argamassas de cal aérea e terra caulinítica. Caracterização física e química. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FCT-UNL, Monte da Caparica.
- Pinto, A. (2004). Sistemas ligantes obtidos por ativação alcalina do metacaulino. Tese de Doutoramento, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.
- Rato, V. (2006). Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, FCT-UNL, Monte da Caparica.
- Rua, H. (1998). Os dez livros de arquitectura de Vitruvio, IST, Lisboa.
- Russo, A., Veiga, M. R., Vaz, M. F., Carvalho, A. P. (2011). Effect of the Conservation Treatment of Historical Ceramic Tiles on the Tensile Adhesion Strength. *International Journal of Architectural Heritage*, 5(2):241-250.
- Sabbioni, C., Bonazza, A., Zappia, G. (2002). Damage on hydraulic mortars: the Venice Arsenal. *Journal of Cultural Heritage*, 3(1):83-88. [http://dx.doi.org/10.1016/S1296-2074\(02\)01163-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1296-2074(02)01163-9)
- Santos, A. R., Tavares, M., Providência, P., Silva, A. S., Veiga, M. R., Gil, F., Catarino, L. (2014). Os revestimentos do centro histórico de Coimbra: A caracterização de argamassas de revestimento de paredes. In: I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento, Universidade de Coimbra.
- Segurado, J. E. S. (1908). Alvenaria e cantaria. 2ª edição. Lisboa: Bibliotheca de Instrução Profissional: 108.
- Seruya, A.I., Carvalho, G. (2002). Igreja da Madre de Deus: história, conservação e restauro. Lisboa: IPM.
- Silva, A. S., Paiva, M., Ricardo, J., Salta, M., Monteiro, A. M., Candeias, A. E. (2006a). Characterisation of roman mortars from the archaeological site of Tróia (Portugal). *Materials Science Forum*, 514-516:1643-1647. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.514-516.1643
- Silva, A. S., Ricardo, J. M., Salta, M., Adriano, P., Mirão, J., Candeias, A. E., Macias, S. (2006b). Characterization of Roman mortars from the historical town of Mértola. In: HWC 2006 International Conference on Heritage, Weathering and Conservation, Madrid, Spain.
- Silva, A. S., Adriano, P., Magalhães, A., Pires, J., Carvalho, A., Cruz, A. J., Mirão, J., Candeias, A. (2010a). Characterization of historical mortars from Alentejo's religious buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, 4(2):138-154. <http://dx.doi.org/10.1080/15583050903046322>
- Silva, A. S., Borsoi, G., Veiga, R., Fragata, A., Tavares, M., Llera, F. (2010b). Physico-chemical characterization of the plasters from the church of Santíssimo Sacramento in Alcântara, Lisbon. In: 2nd Conference on Historic Mortars - HMC 2010 and RILEM TC 203-RHM final workshop, Prague, Czech Republic.
- Silva, A. S., Cruz, T., Paiva, M. J., Candeias, A., Adriano, P., Schiavon, N., Mirão, J. (2011). Mineralogical and chemical characterization of historical mortars from military fortifications in Lisbon harbour (Portugal). *Environmental Earth Sciences*, 63(7): 1641-1650. DOI: 10.1007/s12665-011-0985-0
- Silva, A.S. (2015). A química e a caracterização de argamassas antigas. *Química, Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, 137:37.
- Silva, A. S., Santos, A. R., Veiga, R., Llera, F. (2016). Characterization of Mortars from the Fort of Nossa Senhora da Graça, Elvas (Portugal) to support the conservation of the monument. In: HMC 16, 4th Historical Mortars Conference, Santorini, Greece.
- Simões, J. M. S. (1965). Azulejaria portuguesa no Brasil (1500-1822). Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Sousa Coutinho, A. (1988). Fabrico e propriedades do betão - Volume I, Lisboa, LNEC.
- Tavares, M. L., Veiga, M. R., Fragata, A., Aguiar, J. (2008). Consolidation of renderings simulating stone in the façade of LNEC's building. In: Stone Consolidation in Cultural Heritage, International Symposium, Lisbon: 121-129.
- Teixeira, B., Valente, C., Velosa, A. L., Veiga, M. R., Ferreira, I. M. (2008). Development of lime based mortars for repairing glazed tiles coating of historic buildings in the city of Ovar, Portugal. In: HMC08, 1st Historical Mortars Conference, LNEC, Lisboa, CD.
- Teixeira, B. (2008). Conservação de fachadas azulejadas em Ovar: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro.
- Válek, J., Hughes, J. J., Bartos, P. J. M. (2000). Compatibility of historic and modern lime mortars. In: 12th International Masonry Conference., Madrid.
- Válek, J., Veiga, M. R. (2005). Characterisation of mechanical properties of historic mortars. In: STREMAH 2005 – 9th International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture, Malta.
- Valente, Carla (2008). Conservação de fachadas azulejadas em Ovar: Comportamento face à água. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro.

- Valladares, J. (1982). Os azulejos da reitoria. Raízes Artes Gráficas, Universidade Federal da Bahia.
- Veiga, M. R., Aguiar, J., Silva, A. S., Carvalho, F. (2001). Methodologies for characterisation and repair of mortars of ancient buildings. In: International Seminar of Historical Constructions, Universidade do Minho, Guimarães.
- Veiga, M. R. (2003). Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes. In: 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa, LNEC.
- Veiga, M. R. (2005). Comportamento de rebocos para edifícios antigos: Exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigos. In: Seminário “Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos”. Lisboa, LNEC, 14-15 de Fevereiro de 2005.
- Veiga, M. R. (2006a). Os revestimentos antigos e a identidade dos edifícios. Arquitectura Ibérica, Reabilitação, nº12.
- Veiga, M. R. (2006b). Intervenções em revestimentos antigos: conservar, substituir ou...destruir. In: 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de edifícios (PATORREB), Porto.
- Veiga, M. R. (2007). Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos. Programa de Investigação e Programa de Pós-graduação para a obtenção do título de Habilitação para o Exercício de Funções de Coordenação de Investigação Científica, LNEC, Lisboa.
- Veiga, M. R., Tavares, M. L., Magalhães, A. C. (2007). Restauro da fachada em marmorite de cal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Lisboa. Materiais, métodos e resultados. In: VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (SBTA), Recife, Brasil.
- Veiga, M. R., Velosa, A., Magalhães, A. (2009). Experimental applications of mortars with pozzolanic additions: Characterization and performance evaluation. Construction and Building Materials, 23(1):318-327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.12.003>
- Veiga, M. R. (2012). Argamassas de alvenarias históricas. Funções e características. In: Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria, UNL, Campus de Campolide, Lisboa.
- Veiga, M. R., Silva, A. S., Tavares, M., Santos, A. R., Lampreia, N. (2013). Characterization of Renders and Plasters from a 16th Century Portuguese Military Structure: Chronology and Durability. Restoration of Buildings and Monuments, 19(4):223-238. <https://doi.org/10.1515/rbm-2013-6603>
- Velosa A., Veiga M. R. (2002). Use of additivated lime mortars for old building rehabilitation. Adapted test methods. In: 9th International Conference on durability of building materials and components, Brisbane, Australia.
- Velosa, A. L.; Coroado, J.; Rocha, F. (2006). Characterization of stone and mortar decay - Casa Major Pessoa, Aveiro. In HWC 2006, International Conference on Heritage, Weathering and Conservation, Madrid, Spain.
- Velosa, A. (2006). Argamassas de cal com pozolanas para revestimento de paredes antigas. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro.
- Velosa A., Veiga M. R. (2007a). Utilização de um sub-produto industrial como aditivo em argamassas de cal. In: VII Seminário Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Recife, Brasil.
- Velosa, A. L., Coroado, J., Veiga, M. R., Rocha, F. (2007b). Characterization of roman mortars from Conímbriga with respect to their repair. Materials Characterization, (11-12):1208-1216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchar.2007.06.017>
- Wanderley, I. M. (2006). Azulejo na Arquitetura Brasileira: Os painéis de Athos Bulcão. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil.
- W1-<http://www.museudoazulejo.pt/Data/Documents/Cronologia%20do%20Azulejo%20em%20Portugal.pdf> (2017-01-25)
- W2-<http://digitile.gulbenkian.pt/cdm/compoundobject/collection/lis/id/3827/rec/1> (2016-12-30)
- W3-[http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=3120](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=3120) (2016-12-30)
- W4-[http://hemerotecadigital.cm-lisboa.pt/Periodicos/Olisipo/1961/N95/N95\\_master/Olisipo\\_N95\\_Jul1961.PDF](http://hemerotecadigital.cm-lisboa.pt/Periodicos/Olisipo/1961/N95/N95_master/Olisipo_N95_Jul1961.PDF) (2016-12-30)
- W5-<https://www.britishcouncil.pt/sobre/historia> (2016-12-30)
- W6- <http://digitile.gulbenkian.pt/cdm/compoundobject/collection/jmss/id/6418/rec/1> (2016-12-30)
- W7-[http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=12692](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=12692) (2017-01-4)
- W8-[https://issuu.com/cmvmfx/docs/volume\\_5](https://issuu.com/cmvmfx/docs/volume_5) (2017-01-4)
- W9-<http://omirante.pt/semanario/2011-03-10/sociedade/2011-03-09-pj-investiga-roubo-de-azulejos-da-capela-do-hospital-da-flamenga-em-vialonga> (2017-01-4)
- W10-<https://www.publico.pt/local-lisboa/jornal/palacio-da-flamenga-em-vialonga-ja-tem--a-porta-aberta-a-sua-destruicao-total-22718343> (2017-01-4)

- W11-<http://omirante.pt/semanario/2008-09-11/sociedade/2008-09-10-capela-do-hospital-da-flamenga-vai-ser-emparedada-para-evitar-vandalismo> (2017-01-4)
- W12-<http://www.segurancaonline.com/noticias/detalhes.php?id=1771> (2017-01-4)
- W13-[http://www.sosazulejo.com/?page\\_id=48](http://www.sosazulejo.com/?page_id=48)(2017-01-4)
- W14-<https://www.publico.pt/local-lisboa/jornal/dois-mil-azulejos-seiscentistas-roubados-de-palacio-de-vialonga-21614778> (2017-03-4)
- W15-<http://lisboasos.blogspot.pt/2009/06/misterios-do-hospital-de-arroios.html> (2016-12-30)
- W16-[http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=3187](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=3187) (2016-12-30)
- W17-<http://aps-ruasdelisboacomhistreria.blogspot.pt/2012/09/praca-do-chile-viii.html> (2016-12-30)
- W18-<http://aps-ruasdelisboacomhistreria.blogspot.pt/2012/09/praca-do-chile-ix.html> (2016-12-31)
- W19-<http://aps-ruasdelisboacomhistreria.blogspot.pt/2012/09/praca-do-chile-x.html> (2016-12-31)
- W20-<http://aps-ruasdelisboacomhistreria.blogspot.pt/2012/10/praca-do-chile-xi.html> (2016-12-31)
- W21-<http://aps-ruasdelisboacomhistreria.blogspot.pt/2012/10/praca-do-chile-xii.html> (2016-12-31)
- W22-<http://aps-ruasdelisboacomhistreria.blogspot.pt/2012/10/praca-do-chile-xiii.html> (2016-12-31)
- W23-[http://caisdoolhar.blogspot.pt/2012/04/coisas-extintas-ou-em-vias-de\\_19.html](http://caisdoolhar.blogspot.pt/2012/04/coisas-extintas-ou-em-vias-de_19.html) (2016-12-31)
- W24-<http://lisboadeantigamente.blogspot.pt/2015/11/convento-e-igreja-hospital-de-nossa.html> (2016-12-31)
- W25-<http://miseriasdelisboa.blogspot.pt/2015/08/hospital-de-arroios.html> (2016-12-31)
- W26-<http://quintaisisa.blogspot.pt/2016/06/o-misterio-do-hospital-de-arroios-praca.html> (2016-12-31)
- W27-<https://www.publico.pt/2005/02/11/local/noticia/camara-aprova-demolicao-do-hospital-de-arroios-1215500> (2016-12-31)
- W28-<http://www.museudoazulejo.pt/pt-PT/ExposAct/ExpoPerm/ContentDetail.aspx?id=894> (2017-01-4)
- W29-<http://ionline.sapo.pt/527891> (2017-01-4)
- W30-<http://5-cavalaria.webnode.com.pt/news/regimento-de-lanceiros-de-lisboa-rl-2/> (2017-03-4)

## ANEXOS – Fichas de estudo das argamassas

### Ficha de estudo 1

**Descrição:** Argamassas de assentamento removidas do tardo de azulejos encontrados enterrados em escavações arqueológicas e depositados em inventário do Museu do Azulejo.

**Localização:** Lisboa

**Tipo de Edifício:** Desconhecido.

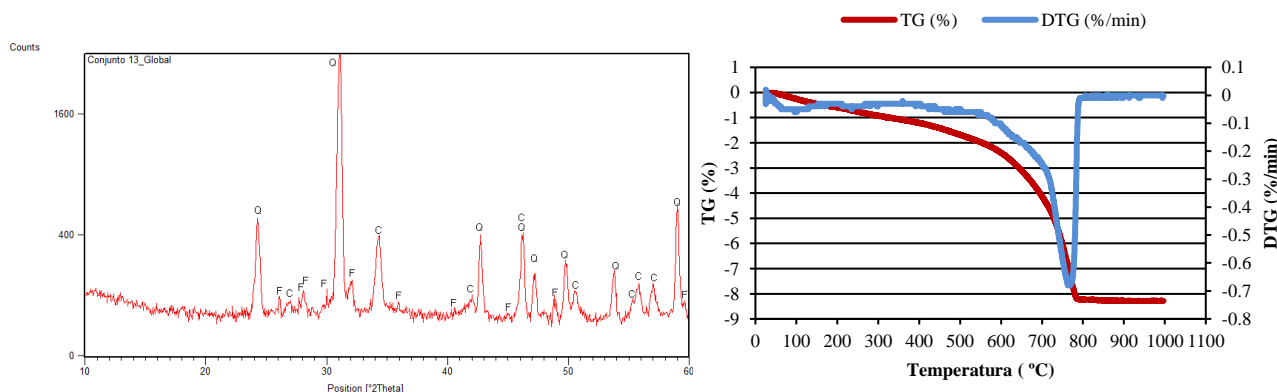
**Época:** XVI

**Identificação das amostras:** ARQ1, ARQ2, ARQ3, ARQ4

**Compilação de resultados:**

- Amostra ARQ1**

Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



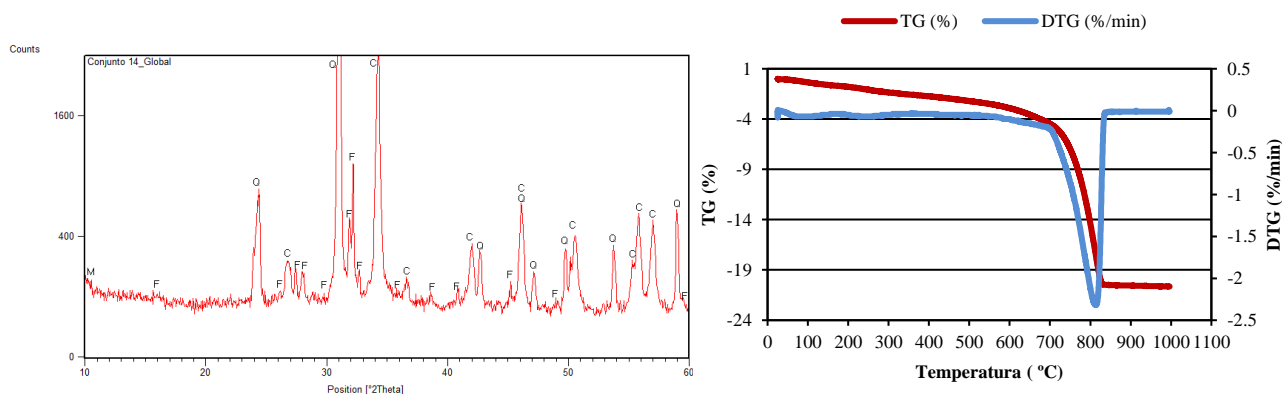
Notação utilizada: Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,59	0,62	0,47	6,58	8,28	14,96	11,08	1:8	1:7

- Amostra ARQ2**

Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



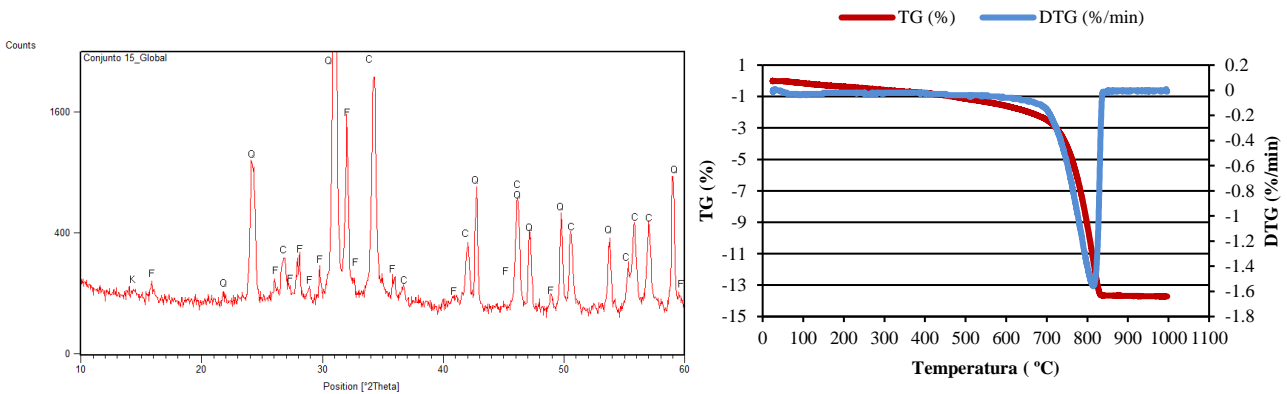
Notação utilizada: M – Mica; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,80	0,94	0,47	18,29	20,65	41,60	30,79	1:2	1:2

• **Amostra ARQ3**

Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



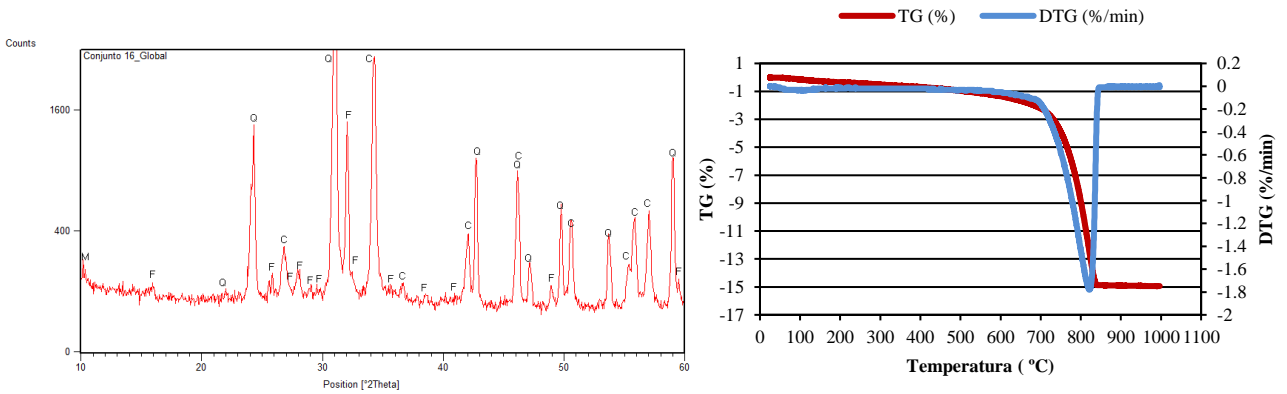
Notação utilizada: K – Caulinite; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,37	0,42	0,34	12,53	13,72	28,50	21,10	1:4	1:3

• **Amostra ARQ4**

Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



Notação utilizada: M – Mica; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,34	0,35	0,27	13,92	14,94	31,66	23,44	1:3	1:3

## Ficha de estudo 2

**Descrição:** Argamassas de assentamento removidas do tardo de azulejos de cercadura, de tipologia hispano-mourisca, que se encontravam em inventário no Museu Nacional do Azulejo.

**Localização:** Desconhecida.

**Tipo de Edifício:** Desconhecido.

**Época:** XVII

**Identificação das amostras:** HM1, HM2

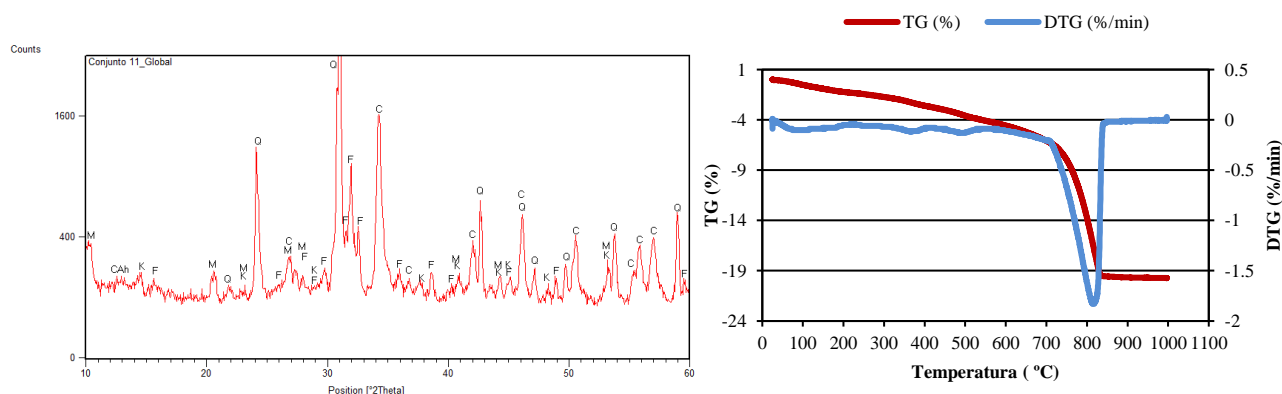


Figura A 1 - Azulejos de onde provêm as amostras HM1 e HM2

### Compilação de resultados:

#### • Amostra HM1

##### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



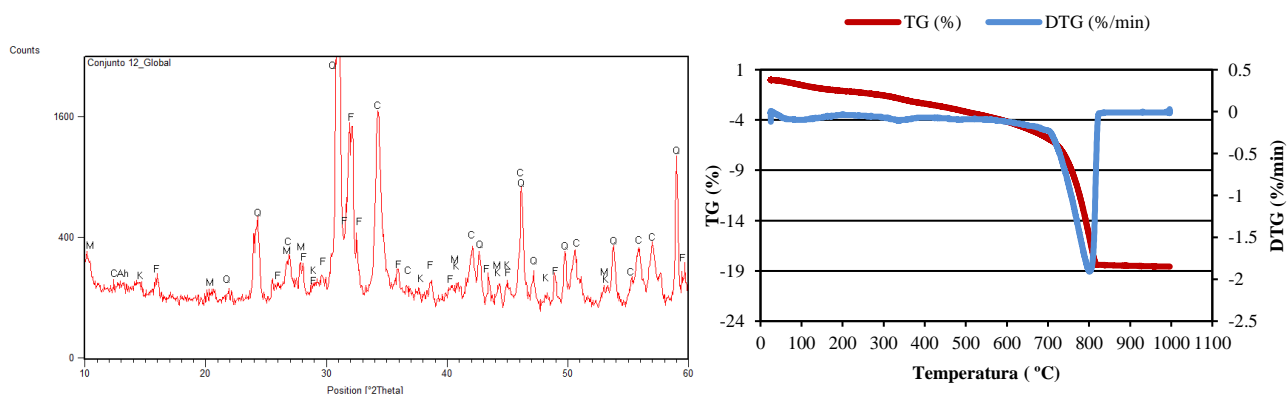
Notação utilizada: M – Mica; CAh – Aluminato de cálcio hidratado; K – Caulinite; Q – Quartz; C – Calcite; F – Feldspatos

##### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
1,23	1,37	0,99	15,98	19,73	36,34	26,90	1:3	1:2

#### • Amostra HM2

##### Difração de Raios X



Notação utilizada: M – Mica; CAh – Aluminato de cálcio hidratado; K – Caulinite; Q – Quartz; C – Calcite; F – Feldspatos

## Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
1,11	1,27	0,80	15,26	18,58	34,71	25,69	1:3	1:2



### Ficha de estudo 3

**Descrição:** Argamassas de assentamento removidas do tardo de azulejos de um painel de azulejo de fabrico em Lisboa, de proveniência desconhecida, em inventário no Museu Nacional do Azulejo.

**Localização:** Desconhecida.

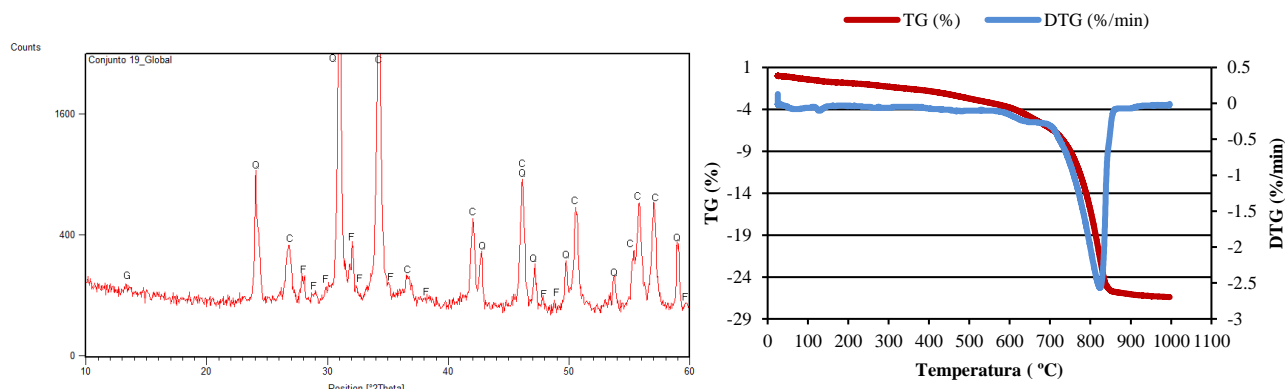
**Tipo de Edifício:** Desconhecido.

**Época:** XVII

**Identificação das amostras:** PL

**Compilação de resultados:**

Difração de Raios X



Notação utilizada: G - Gesso; Q – Quartz; C – Calcite; F – Feldspatos

Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,86	0,95	0,91	22,90	26,40	52,08	38,55	1:2	1:1

**Ficha de estudo 4**

**Descrição:** Argamassas de assentamento removidas do tardo de azulejos de vários painéis dispostos no interior do edifício nº13 da Travessa André Valente, que desemboca na Calçada do Combro e pertence atualmente à freguesia da Misericórdia (antiga Freguesia de Santa Catarina).

**Localização:** Lisboa

**Tipo de Edifício:** Palacete.

**Época:** XVII-XVIII

**Identificação das amostras:** TAV1, TAV2, TAV3 e TAV4

**Contexto histórico:** Trata-se de um edifício com planta em L de dois andares, do século XVII, com uma pequena capela no piso térreo. Merece especial destaque por encerrar espécies raras de azulejos datados do século XVII ao século XIX. Vários eram os motivos representados nos azulejos: desde cenas de batalhas marítimas, acampamentos, caçadas, cenas de música e dança, entre outras. Como elementos mais marcantes deste edifício destaca-se uma parede toda forrada a azulejo com uma pequena fonte (W2) e um lambril de azulejos seiscentistas policromos em painéis figurando cenas de batalhas (terrestres e marítimas) da Guerra da Restauração, enquadradas por duplo friso azulejar do tipo figura avulsa (com representações de animais e espécies vegetais) (W3). Em todo o edifício há azulejaria, de várias épocas, alguma da qual mandada colocar pelo Dr. José de Arruela quando para lá mudou a sua residência (W4). Mais tarde, a 23 de Novembro de 1938, aquele edifício viria a acolher o British Council, que em Março de 1942 se mudou para o Palácio Menino de Ouro na Rua Luís Fernandes em Lisboa (W5).

Em muitos casos foi notório o restauro e tentativa de recomposição de alguns painéis para os quais houve necessidade de mandar fazer mais azulejos. Esse trabalho foi, ao que parece, feito na Cerâmica Sant'Anna e, apesar do mérito que merece pela dificuldade em recompor uma história com peças em falta, não foi muito bem conseguido. Várias dessas recomposições desenquadraram-se da história original do painel que integram. É exemplo disso um painel que adornava o salão do edifício, onde se representou uma fortaleza muito semelhante à Torre de Belém, tradicional “marca” de Lisboa que na época inspirava muitos pintores de azulejos quando necessitavam ou desejavam representar fortificações ribeirinhas (W4) sem, no entanto, o ambiente envolvente as enquadrar. A descaracterização de alguns painéis e, assim, a perda de “carimbo” de autenticidade arqueológica foi notória em diversos outros painéis no mesmo edifício, como é referido na apreciação do Engenheiro Santos Simões (W6).

Os conjuntos de argamassa de assentamento de azulejos TAV1, TAV2 e TAV3 pertencem à capela do piso térreo. Os conjuntos TAV1 e TAV2 dizem respeito à zona do rodapé, enquanto que o conjunto TAV3 diz respeito a um registo com dimensão de 14x12 azulejos, com cercadura própria e representando o episódio de Crucificação de Jesus Cristo (W2). Este registo encontrava-se a meia altura na capela e a pintura é azul avivada com amarelos ocres. O conjunto TAV4 trata-se de argamassa de assentamento de azulejos de um silhar, no primeiro piso do edifício, inserido no período de produção azulejar denominado “Regresso à Cor”. O Museu Nacional do Azulejo foi chamado a intervir na recolha dos azulejos do edifício no momento em que este foi vendido para se dar início a uma obra de reabilitação, ainda a decorrer.



Figura A 2 - Edifício nº 13 da Travessa André Valente (atualmente) (a) e exemplos de revestimento azulejar do seu interior (b e c) (W2) ((c) trata-se do registo de origem da amostra TAV3)

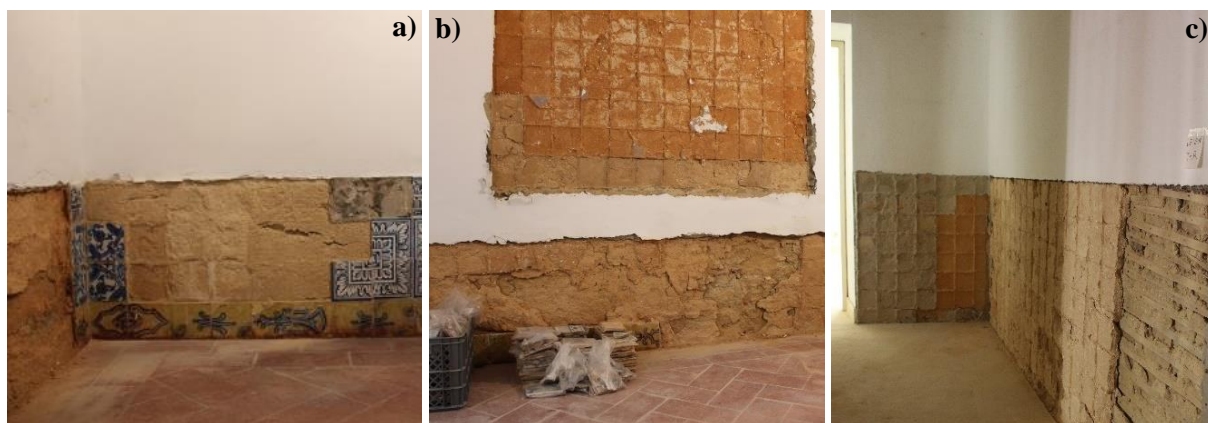


Figura A 3 - Levantamento dos azulejos do edifício: origem das amostras TAV1, TAV2 e TAV3 (a e b) e origem da TAV4 (c)

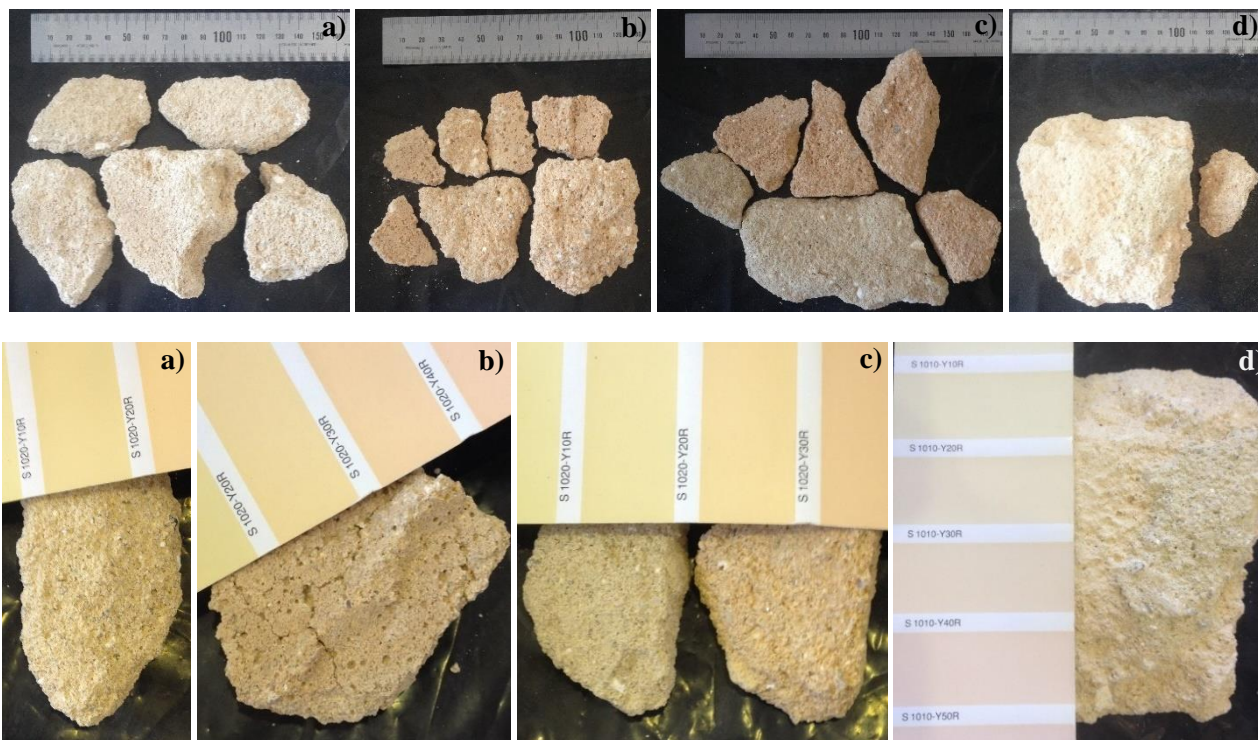
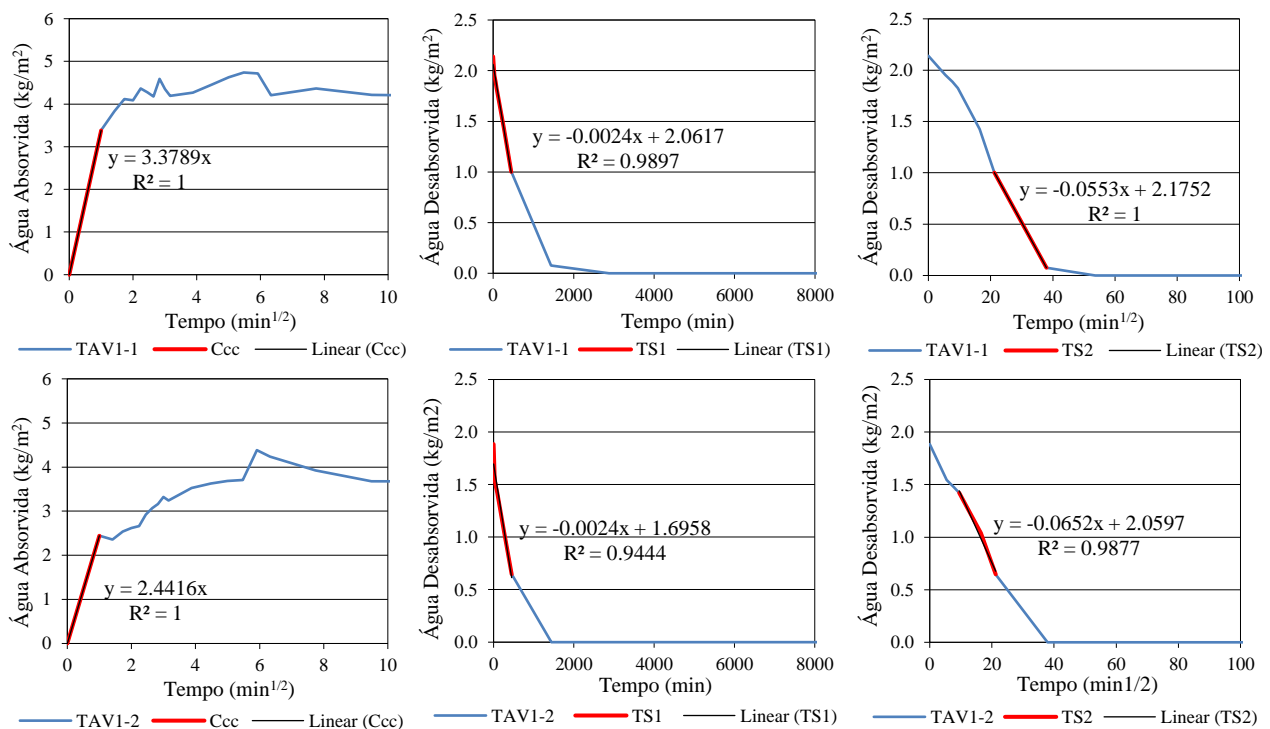
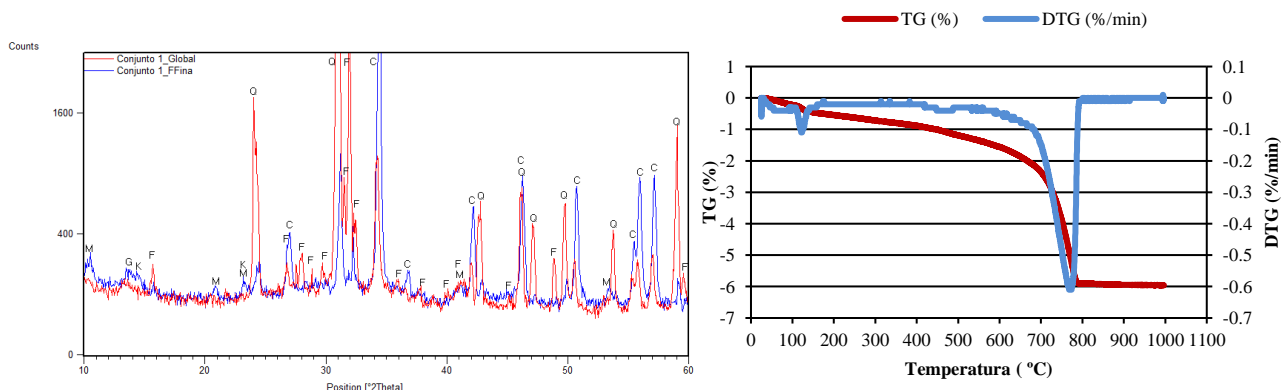


Figura A 4 - Amostragem TAV1, TAV2, TAV3 e TAV4 (respetivamente)

**Compilação de resultados:**• **Amostra TAV1**

Valores médios

Ccc: 2,91 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)TS1: 0,0024 kg/(m<sup>2</sup>.min)TS2: 0,0603 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>) $\rho_b$ : 1732 kg/m<sup>3</sup> $P_{ab}$ : 29%Rc: 0,62 N/mm<sup>2</sup>**Absorção e secagem****Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica**

Notação utilizada: M – Mica; G - Gesso; K – Caulinite; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,54	0,34	0,31	4,73	5,96	10,76	7,96	1:12	1:11



### • Amostra TAV2

Valores médios

Ccc: 0,27 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)

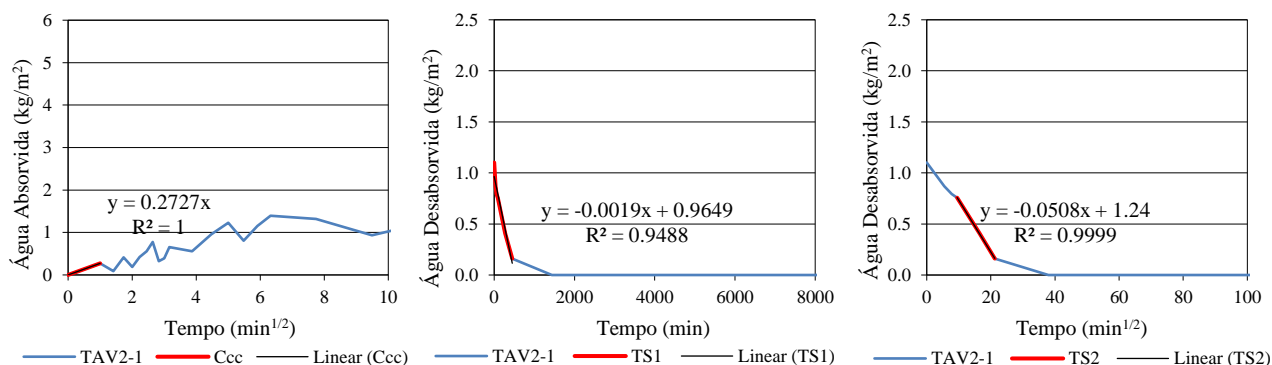
TS1: 0,0019 kg/(m<sup>2</sup>.min)

TS2: 0,0508 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)

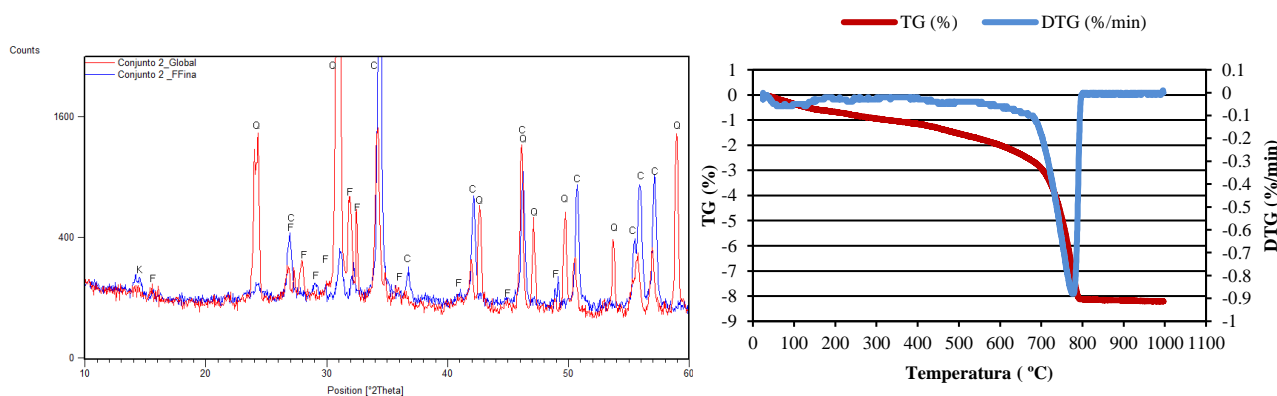
$\rho_b$ : 1681 kg/m<sup>3</sup>

P<sub>ab</sub>: 26%

### Absorção e secagem



### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica

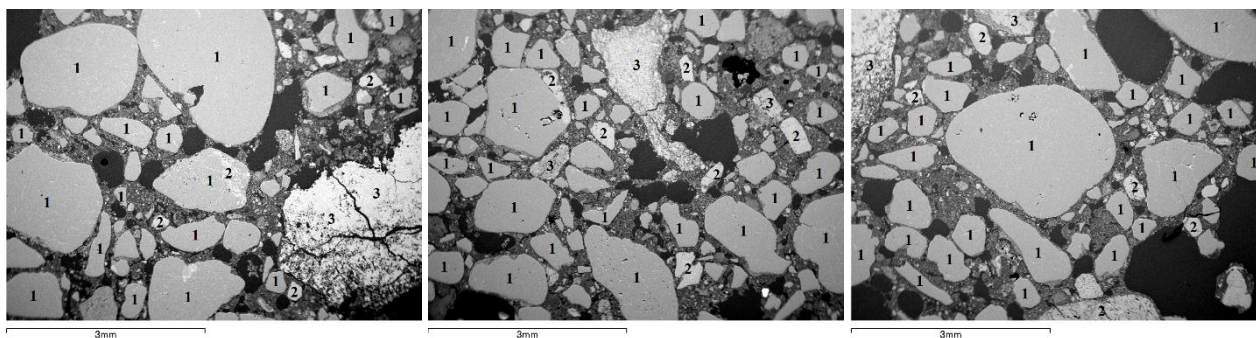


Notação utilizada: K - Caulinite; Q – Quartz; C – Calcite; F – Feldspatos

### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,68	0,47	0,39	6,61	8,20	15,03	11,13	1:8	1:7

### Observação microestrutural por MEV



Notação utilizada: 1 - Quartz; 2 - Feldspatos; 3 – Grão de cal

### • Amostra TAV3

Valores médios

Ccc: 2,59 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)

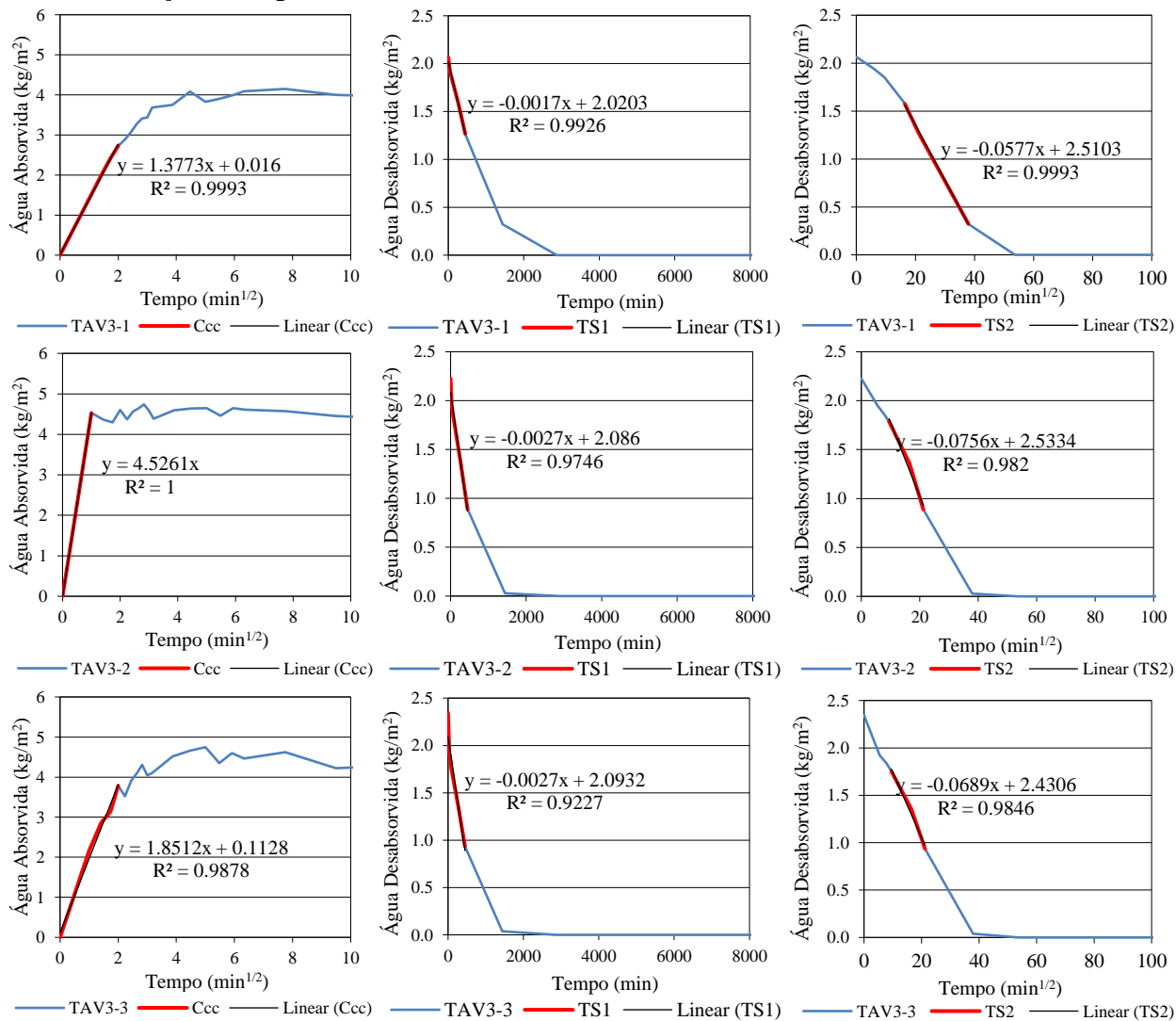
TS1: 0,0024 kg/(m<sup>2</sup>.min)

TS2: 0,0674 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)

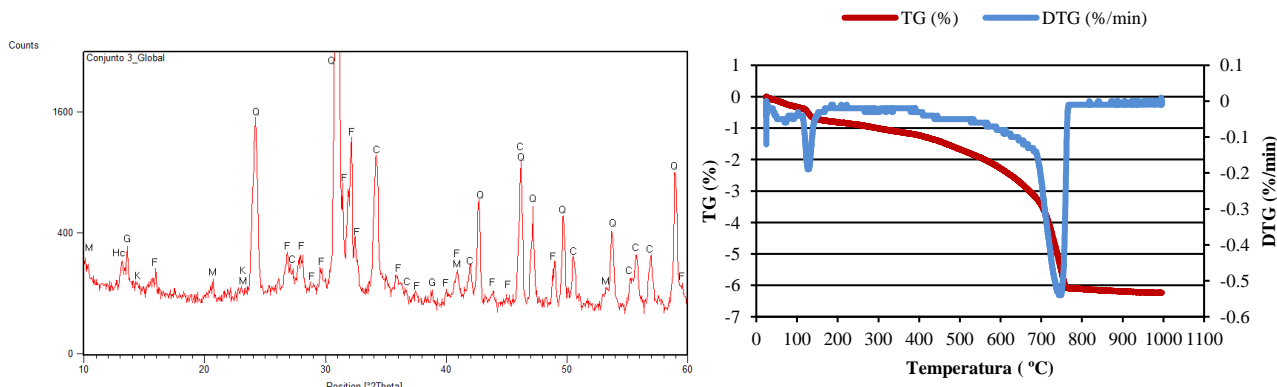
$\rho_b$ : 1705±17 kg/m<sup>3</sup>

P<sub>ab</sub>: 29%

#### Absorção e secagem



#### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



Notação utilizada: M – Mica; Hc – Hidrocalumite; G - Gesso; K – Caulinite; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

## Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

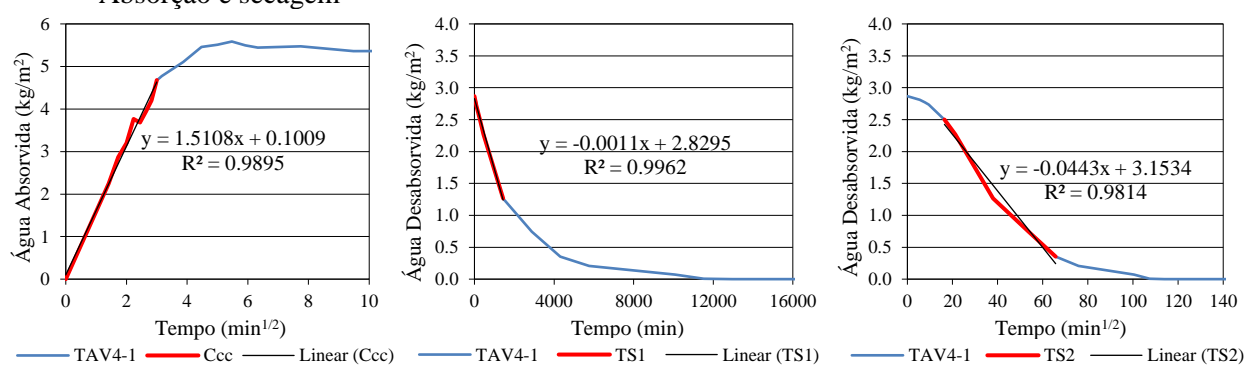
Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,81	0,42	0,44	4,49	6,23	10,21	7,56	1:12	1:11

## • Amostra TAV4

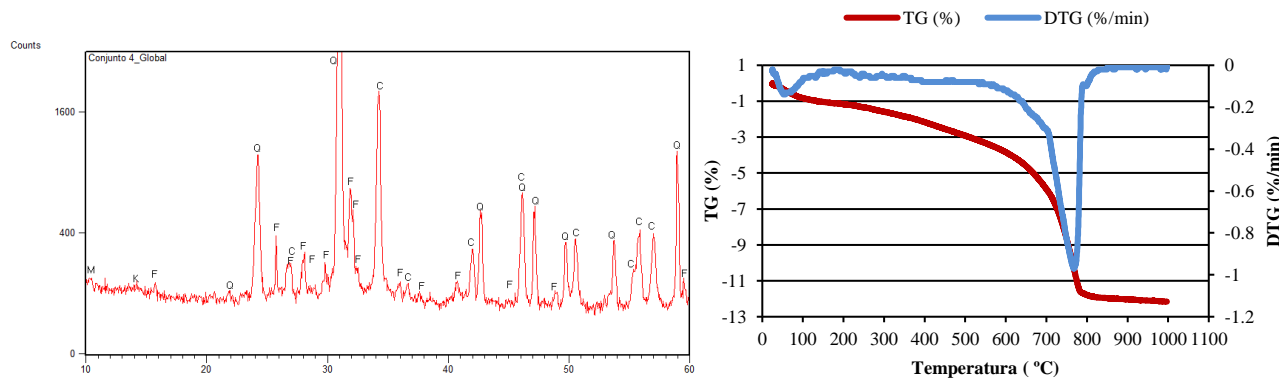
Valores médios

Ccc: 1,51 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)TS1: 0,0011 kg/(m<sup>2</sup>.min)TS2: 0,0443 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)ρ<sub>b</sub>: 1748 kg/m<sup>3</sup>P<sub>ab</sub>: 29%R<sub>c</sub>: 1,89 N/mm<sup>2</sup>E<sub>du</sub>: 3674±437

## Absorção e secagem

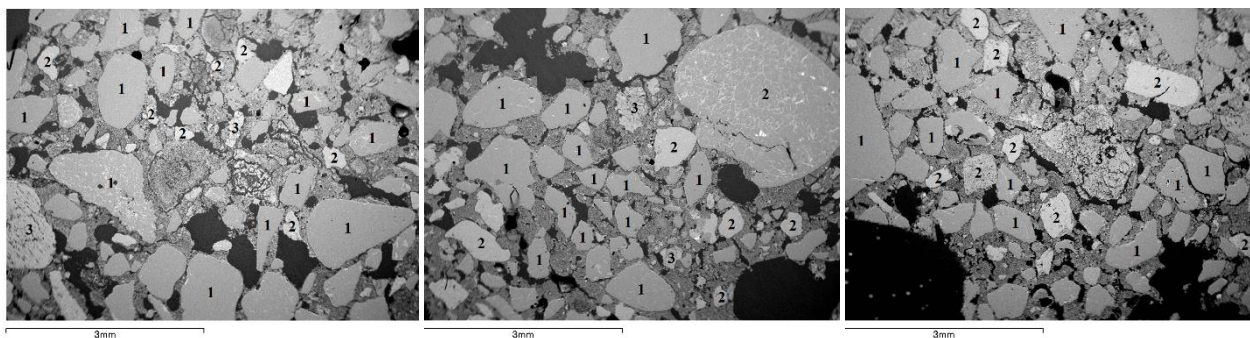


## Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



Notação utilizada: M – Mica; K – Caulinite; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

## Observação microestrutural por MEV



Notação utilizada: 1 - Quartzo; 2 - Feldspatos; 3 – Grão de cal

## Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
1,16	1,00	0,76	9,05	12,16	20,58	15,24	1:6	1:5



## Ficha de estudo 5

**Descrição:** Argamassa de assentamento removida do tardo de azulejos pertencentes à Capela do Antigo Sanatório da Flamengo, em Vialonga, no Concelho de Vila Franca de Xira

**Localização:** Lisboa

**Tipo de Edifício:** Religioso.

**Época:** XVII-XVIII

**Identificação das amostras:** CAS

**Contexto histórico:** Trata-se de um edifício de planta retangular com capela anexa ao lado esquerdo da fachada principal. De decoração extremamente rica e de boa qualidade, apresenta um conjunto de embrechados de mármore no altar-mor, púlpito e lanternim, e ainda decorações em mármore embutidos, talha e uma grande quantidade de azulejos azuis e brancos, pintados à mão e propositadamente concebidos para integrar aquele local, constituindo um enorme valor para o património da região (W7, W8).

Instalado num antigo palácio senhorial, foi ainda no regime de Salazar um sanatório durante vários anos, tendo fechado antes da revolução do 25 de Abril. Após essa revolução, foi local de um movimento popular bem-sucedido com vista à sua reabertura, mas uns anos depois tornou a encerrar portas. Mais recentemente, funcionou como unidade de retaguarda do Hospital Reynaldo dos Santos de Vila Franca de Xira até 1998, data em que encerrou para obras. Em 1999 foi alvo de uma intervenção que custou à Administração Regional de Saúde cerca de 350 mil euros. Vários equipamentos foram recebidos no hospital, mas nunca montados, acabando por ser encaminhados para o Hospital Reynaldo dos Santos. Exposto a atos de vandalismo e ao abandono sem qualquer segurança, o antigo sanatório da Flamengo foi-se degradando gradualmente. Em 2008, a Junta de Freguesia de Vialonga decidiu emparedar as portas e janelas do edifício de forma a evitar mais atos de vandalismo e furtos. Várias foram as tentativas de intervir e reabilitar o edifício, mas a dificuldade em encontrar parceiros, aliada a uma necessidade de investimento não suportável pelas entidades responsáveis levaram ao seu completo abandono. A 10 de Março de 2011, o semanário regional “O Mirante” denuncia o roubo de cerca de dois mil azulejos do século XVII, avaliados em cerca de 40 mil euros. O desaparecimento dos azulejos foi detetado durante a realização de uma visita de estudo de um grupo de alunos de uma escola da freguesia, precisamente quando ao abrirem a porta, alunos e professores se depararam com um cenário de “azulejos partidos, velas, decapantes, mantas e outros produtos usados pelos assaltantes” (*in* W9). Os azulejos roubados representam episódios da vida de Santo António, que forravam o interior da capela. Em Agosto do mesmo ano, a capela via metade da sua porta principal já arrancada, estando completamente acessível (W9-11).

A 30 de Novembro de 2013 o antigo sanatório da Flamengo sofre um aparatoso incêndio que destruiu a zona interior do edifício e levou à derrocada de parte da sua cobertura (W12).

O Museu Nacional do Azulejo foi contactado de urgência para recolher os azulejos que restavam na capela, por se encontrarem completamente expostos, na tentativa de salvar pouco do património remanescente no local. Encontram-se de momento em inventário do museu, a aguardar decisões relativamente ao seu destino.

Na página oficial do projeto SOS azulejo (W13), um projeto criado com o intuito de enaltecer a importância do azulejo na história e Portugal e prevenir (e recuperar) os furtos, vandalismo e incúria do património azulejar, é possível verificar, na secção azulejos furtados, os vários painéis que foram pilhados da capela. Nessa página é feito o pedido de colaboração do leitor na denuncia à polícia judiciária em caso de reconhecimento do paradeiro dos azulejos em questão, roubados entre Janeiro e Fevereiro de 2011.



Figura A 5 - Antigo Sanatório da Flamenga (W14)



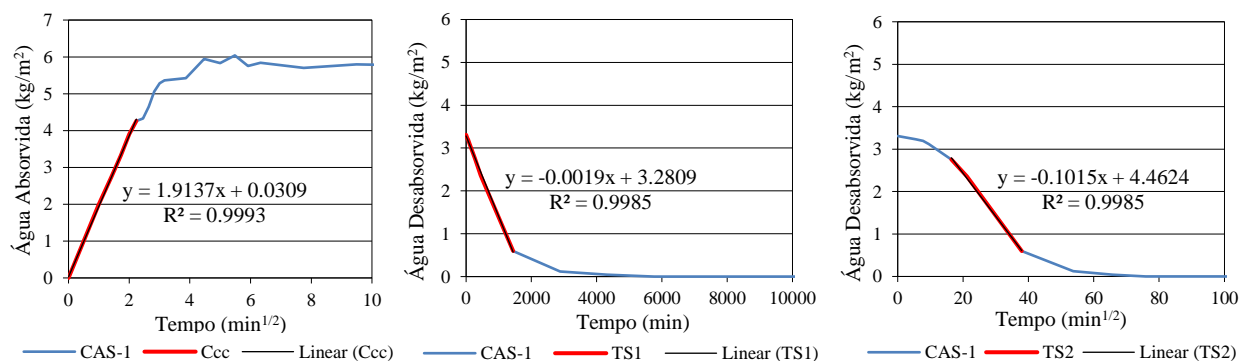
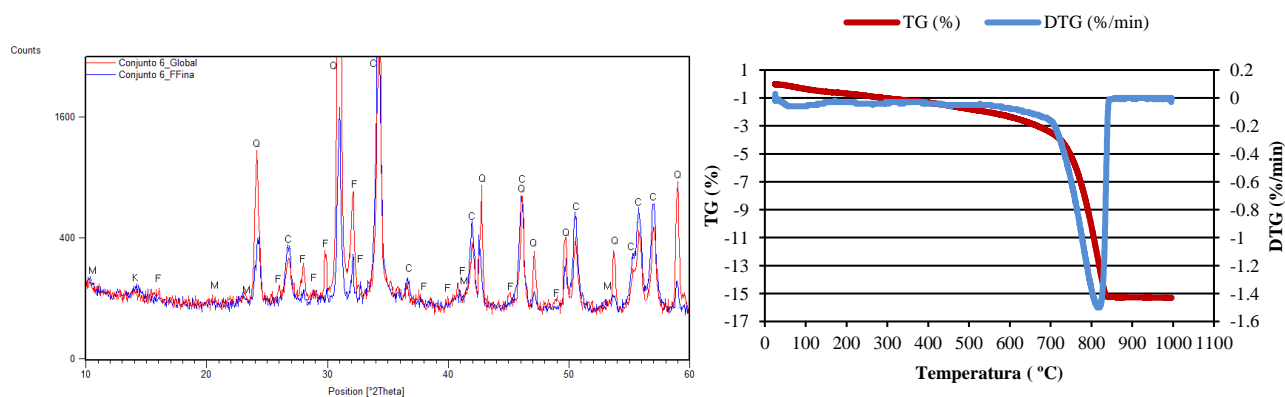
Figura A 6 - Levantamento fotográfico do interior da capela aquando da intervenção do museu



Figura A 7 - Amostragem CAS

**Compilação de resultados:**

Valores médios

Ccc: 1,91 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)TS1: 0,0019 kg/(m<sup>2</sup>.min)TS2: 0,1015 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>) $\rho_b$ : 1535 kg/m<sup>3</sup>P<sub>ab</sub>: 36%Rc: 1,63 N/mm<sup>2</sup>**Absorção e secagem****Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica**

Notação utilizada: M- Mica; K - Caulinite; Q – Quartz; C – Calcite; F – Feldspatos

**Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal**

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,68	0,66	0,46	13,45	15,31	30,59	22,64	1:3	1:3

**Ficha de estudo 6**

**Descrição:** Argamassas de assentamento removidas do tardo de azulejos de painéis do Hospital de Arroios, na Praça do Chile.

**Localização:** Lisboa

**Tipo de Edifício:** Serviços-Religioso.

**Época:** XVIII

**Identificação das amostras:** HA1, HA2, HA3

**Contexto histórico:** O edifício compreende um convento de planta quadrangular, constituído por quatro pisos, e a Igreja do Convento de Nossa Senhora da Conceição de Arroios. A classificação como Monumento de Interesse Público diz respeito apenas à igreja.

O edifício foi construído em 1705, a partir do financiamento de D. Catarina de Bragança, filha de D. João IV e D. Luísa de Gusmão, e lá funcionou até 1755 o colégio de formação dos Jesuítas – colégio de São Jorge de Arroios. Resistiu ao terramoto de 1755, mas em 1759 o Marquês de Pombal determinou a sua ocupação pelas freiras Concepcionistas Franciscanas (de uma Ordem adversa à Companhia de Jesus que tinham como superior o franciscano Paulo de Carvalho, irmão de Marquês de Pombal), ficando o espaço a ser conhecido por convento de Nossa Senhora da Conceição de Arroios. Os motivos representados na azulejaria do edifício estão claramente relacionados com esta primeira fase de vida do edifício, apresentando episódios das vidas de Santos Jesuítas (Santo Inácio de Loyola, São Francisco Xavier e Santo Estanislau Kostka). Mas em 1890, com a morte da última freira, o convento ficou devoluto e em 1892 o Estado decidiu converter o espaço em hospital de isolamento para doentes com peste bubónica, cólera, varíola, lepra e tuberculose, ficando sob a administração do Hospital Real de São José. De 1898 em diante, tomou o nome de Hospital Rainha Dona Amélia e destinou-se somente ao tratamento e prevenção da tuberculose. Após a Implantação da República, em 1911, passou a chamar-se Hospital de Arroios. Este hospital funcionou até 1993, altura em que foi definitivamente desativado. A 3 de Agosto de 2000 o Museu Nacional do Azulejo efetuou a recolha de vários azulejos do séc. XVIII, relativos aos episódios de vida de São Francisco Xavier, que se situavam no 1º andar do edifício e encontram-se de momento em inventário do museu, a aguardar decisões relativamente ao seu destino. É sabido que as amostras HA2 e HA3 provêm do episódio da “Chegada de São Francisco Xavier ao Japão”, pertencente a um painel que reúne 3 episódios de vida de São Francisco Xavier.

A 11 de Fevereiro de 2005, o Jornal Público noticiou que a Câmara Municipal de Lisboa aprovara a demolição quase integral do hospital para a construção de um empreendimento de habitação e comércio com cerca de 150 apartamentos pela empresa imobiliária do grupo Fibeira, de Armando Martins. Esse projeto, da autoria do arquiteto Miguel Correia, que havia já sido apresentado para aquele local e pelo mesmo arquiteto mas chumbado por não ter em conta a salvaguarda dos valores patrimoniais do imóvel previa, nesta segunda tentativa, a manutenção da igreja (cuja fachada principal se situa na Rua Quirino da Fonseca). O projeto acabou por não avançar e o edifício permanece sem qualquer intervenção. Numa entrevista ao Jornal de Notícias publicada a 6 de Agosto de 2010, os moradores da zona revelaram que o estado de abandono em que o edifício se encontrava lhes causava um sentimento de tristeza pelas memórias do edifício que já fora em tempos e também de insegurança, por ser alvo constante de vandalismos e abrigo de marginais.

Vários foram os avanços e recuos de projetos e as mudanças de promotores, mas o antigo Hospital de Arroios ali permanece esquecido e exposto ao vandalismo e degradação. Atualmente, apenas o espaço exterior do edifício se encontra aproveitado como parque de estacionamento, pago, com mais de uma centena de lugares com entrada pela Rua António Pereira Carrilho (W15-W27).



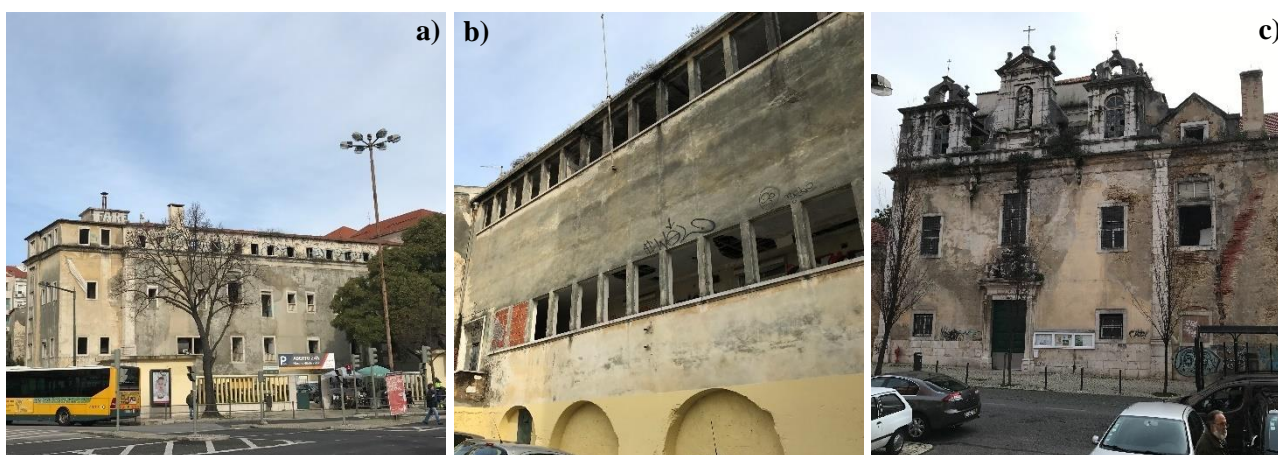


Figura A 8 - Hospital de Arroios atualmente: zona do antigo hospital (a e b) e Igreja do Convento de Nossa Senhora da Conceição de Arroios (c)



Figura A 9 - Pannel de azulejo retratando 3 episódios da vida de São Francisco Xavier (origem das amostras HA2 e HA3)



Figura A 10 - Amostragem HA1

## Compilação de resultados:

### • Amostra HA1

Valores médios

Ccc: 2,54 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)

TS1: 0,0028 kg/(m<sup>2</sup>.min)

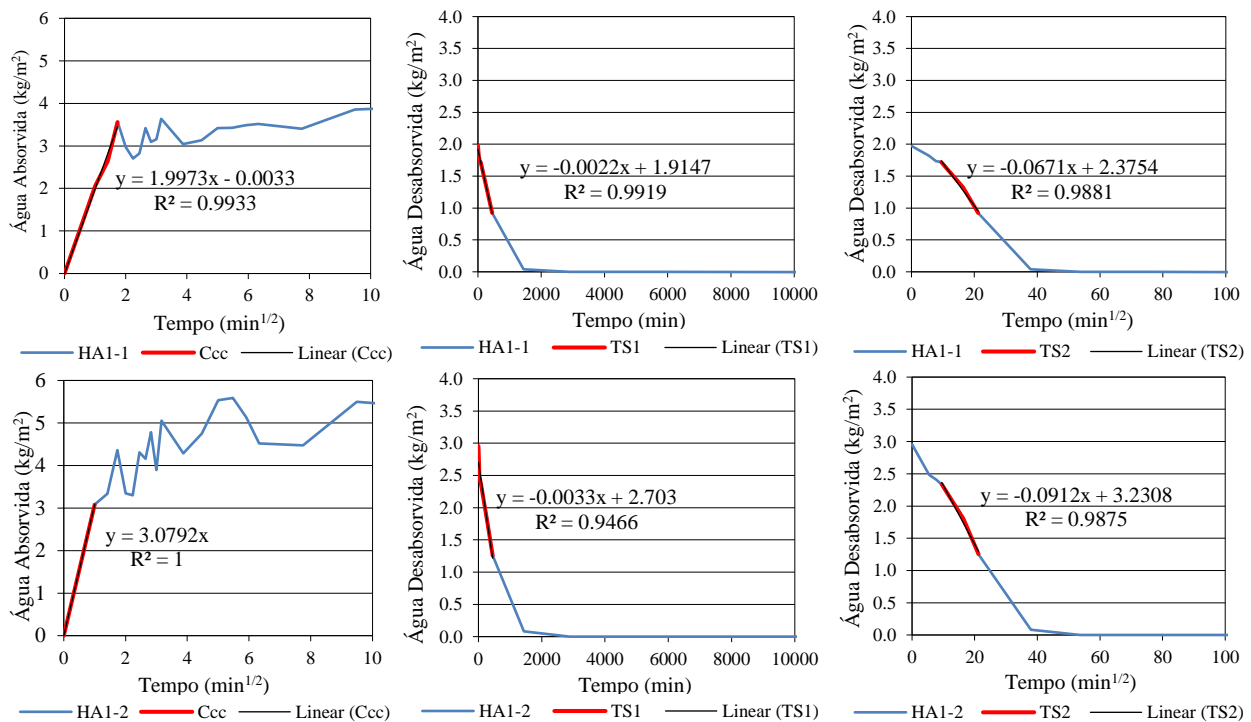
TS2: 0,0796 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)

ρb: 1791 kg/m<sup>3</sup>

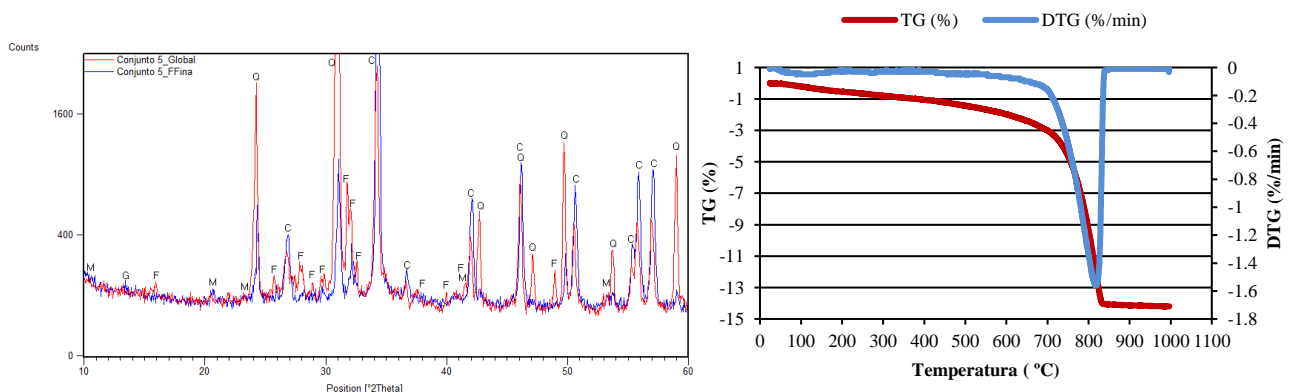
P<sub>ab</sub>: 26%

Rc: 3,34N/mm<sup>2</sup>

### Absorção e secagem



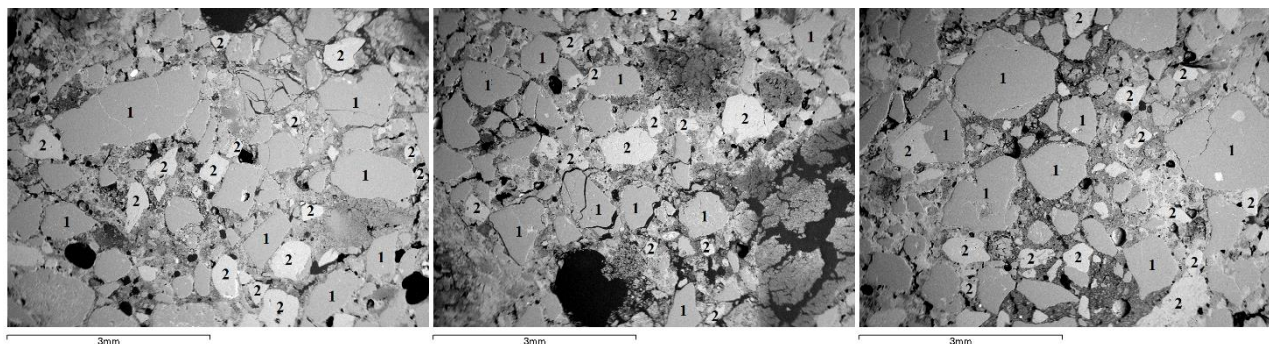
### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



Notação utilizada: M – Mica; G - Gesso; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos



## Observação microestrutural por MEV



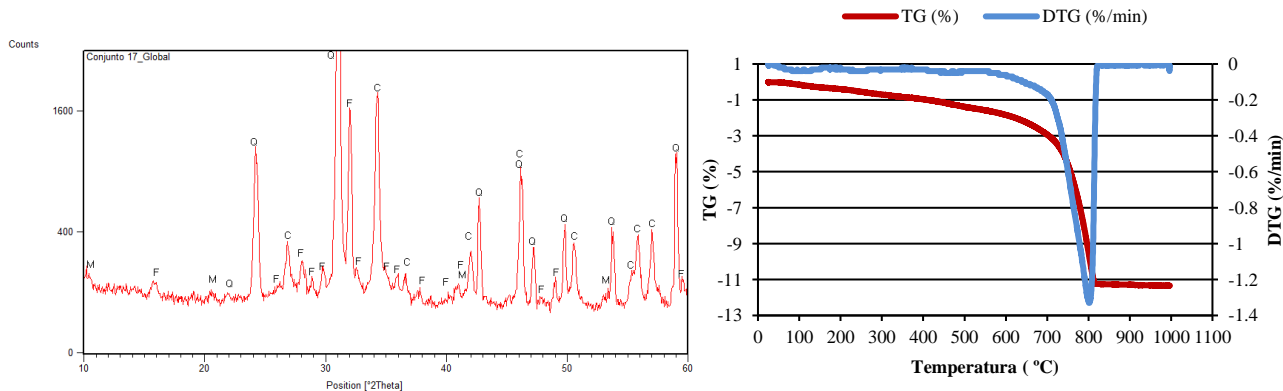
Notação utilizada: 1 - Quartzo; 2 - Feldspatos; 3 – Grão de cal

## Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,54	0,51	0,39	12,64	14,20	28,75	21,28	1:4	1:3

- Amostra HA2**

## Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



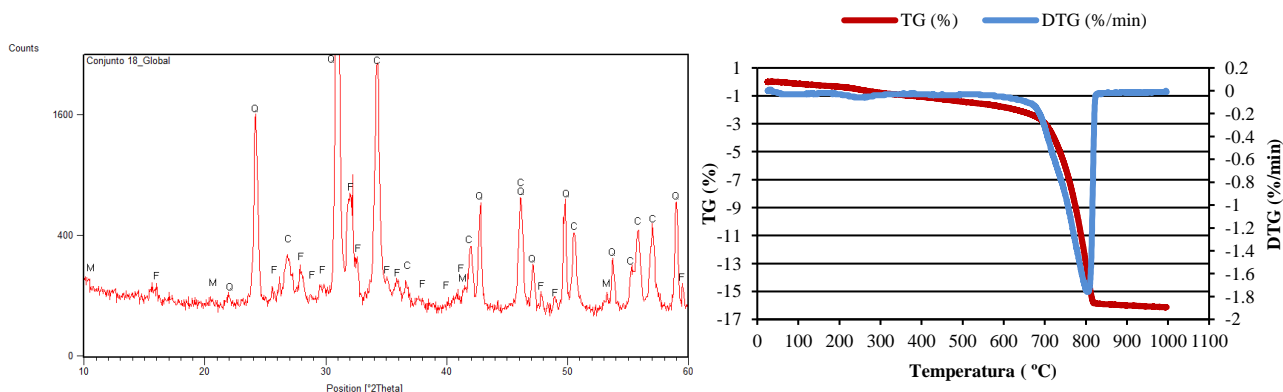
Notação utilizada: M – Mica; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

## Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,40	0,56	0,42	9,89	11,34	22,49	16,65	1:5	1:4

- Amostra HA3**

## Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



Notação utilizada: M – Mica; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,35	0,71	0,36	14,50	16,13	32,98	24,41	1:3	1:3



## Ficha de estudo 7

**Descrição:** Argamassas de assentamento removidas do tardo de azulejos do painel 16, de fabricação holandesa, expostos no interior da Igreja da Madre de Deus, no Museu Nacional do Azulejo.

**Localização:** Lisboa

**Tipo de Edifício:** Religioso

**Época:** XVIII

**Identificação das amostras:** IMD

**Contexto histórico:** Em finais do século XIX, aquando a realização de uma profunda campanha de conservação e restauro do monumento, o espaço foi significativamente alterado, exigindo o levantamento integral de alguns painéis, bem como a integração de painéis novos de modo a unificar o revestimento interior. No revestimento de azulejos no interior da Igreja predominam composições monumentais de produção holandesa dos pintores Willem van der Kloet e de Jan van Oort, existindo ainda algumas outras composições de menores dimensões (p.e. rodapés) de Gabriel del Barco (como o do painel 16) e ainda alguns painéis de fabrico português do século XVIII e finais do século XIX.

O painel 16 intitula-se “Figuração de Veados” (c.1698-1707), é atribuído ao autor holandês Willem van der Kloet e apresenta cerca de 327 cm x 152 cm. Os azulejos que figuram o painel 16 foram deslocados da sua localização original no painel 1, intitulado “Moisés e a Sarça Ardente”, a mando do arquiteto José Maria Nepomuceno (1836-1895), durante os trabalhos de restauro que ali dirigiu em 1871. Esse facto sucedeu-se no contexto do apeamento de um altar que existia defronte da porta principal da igreja, e conseguinte abertura de uma porta central para o espaço atualmente designado como coro baixo, que criou um vazio na parede. Assim, para o seu preenchimento decidiu-se na altura correr adiante todo o azulejo e, para encobrir a falta do que ficou colocado sobre o espaço que estava vazio, o painel 1 foi cortado de forma a poder ser inserido no local onde agora se encontra. Esse corte, que figura o painel 16, revela a despreocupação de Nepomuceno na coerência da aplicação, ao ter deixado uma ovelha sem cabeça.

Situado à direita da porta de entrada do lado da Epístola da igreja, o painel 16 foi um painel que antes da intervenção de finais do séc. XIX possuía vários azulejos soltos da parede, unicamente fixos no encaixe do emolduramento em pedra e através da argamassa das juntas. Contudo, constatou-se que os painéis de azulejo que se encontravam desse lado, assentes na parede de ligação com a rua, estavam ainda assim mais preservados do que os do lado do Evangelho, facto que pode ser explicado pelo inferior nível de humidade e maior ventilação da parede para o exterior. É ainda importante referir que a intervenção se baseou no princípio da intervenção mínima, isto é, apenas os azulejos que se encontravam em eminente destacamento da argamassa de assentamento foram levantados, pois um destacamento forçado conduz à fragilização das peças pela variação ambiental entre a parede e o meio envolvente (W28; SERUYA et al., 2002).



Figura A 11 - Igreja da Madre de Deus



Figura A 12 - Planta de localização do painel 16 (a) (SERUYA et al., 2002) e painel 16, origem das amostras IMD (b)

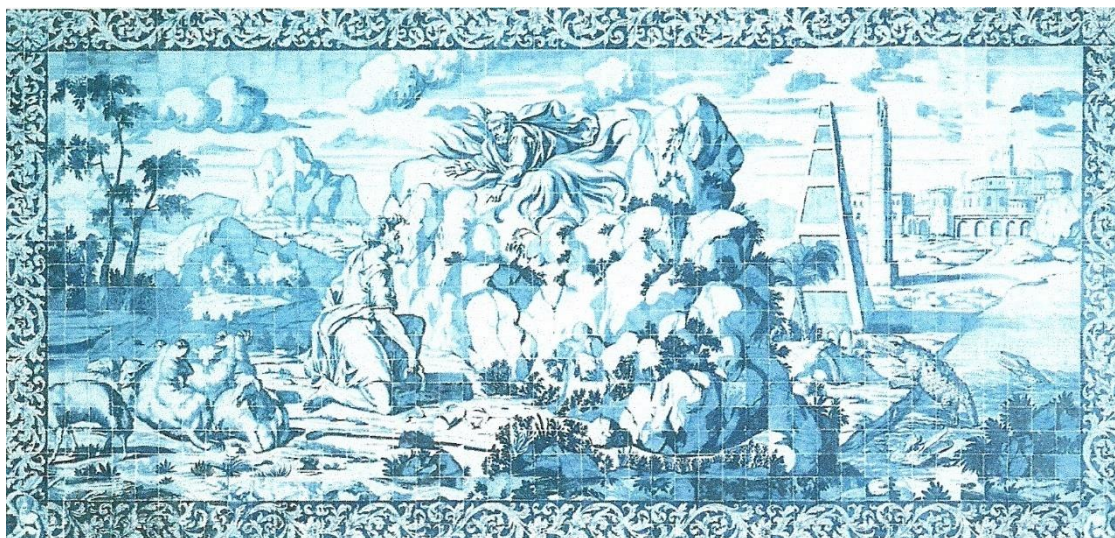


Figura A 13 - Painel I representando “Moisés e a sarça ardente” incompleto do lado esquerdo (cabeça de animal cortada) (SERUYA et al., 2002)

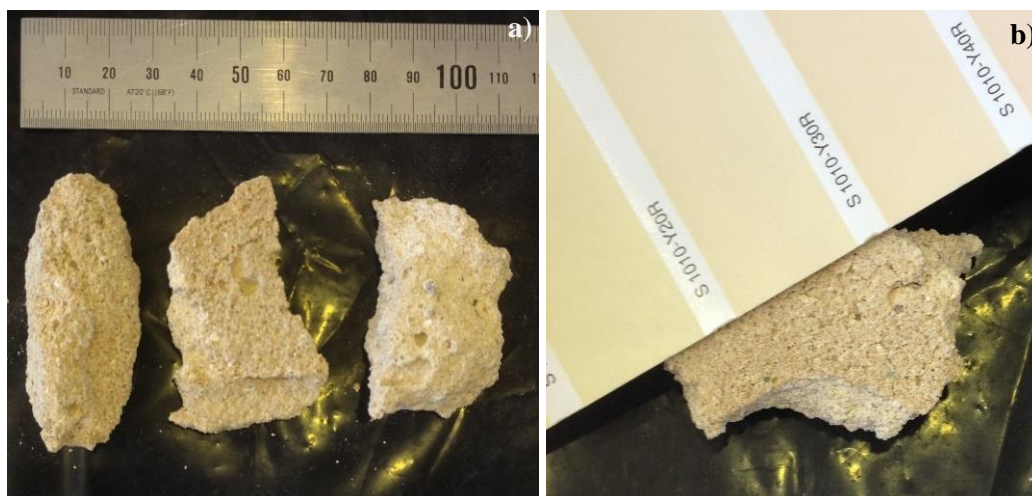


Figura A 14 - Amostragem IMD



## Compilação de resultados:

### Valores médios

Ccc: 1,56 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)

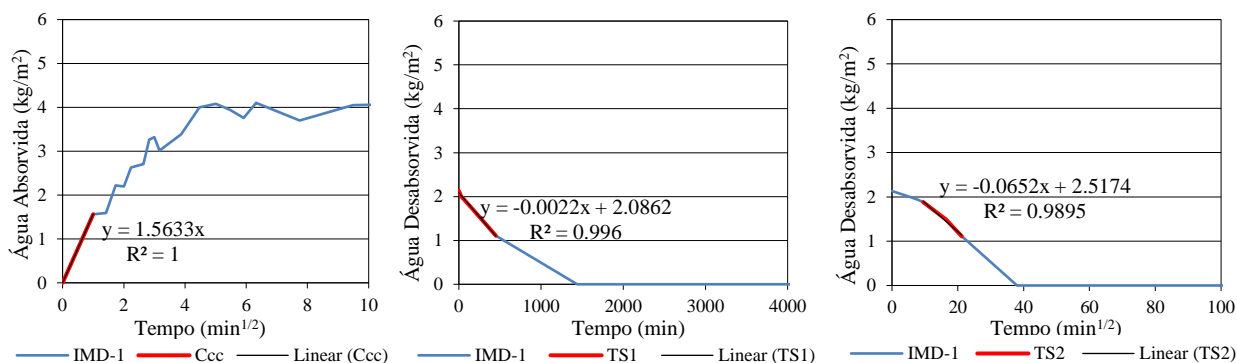
TS1: 0,0022 kg/(m<sup>2</sup>.min)

TS2: 0,0652 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)

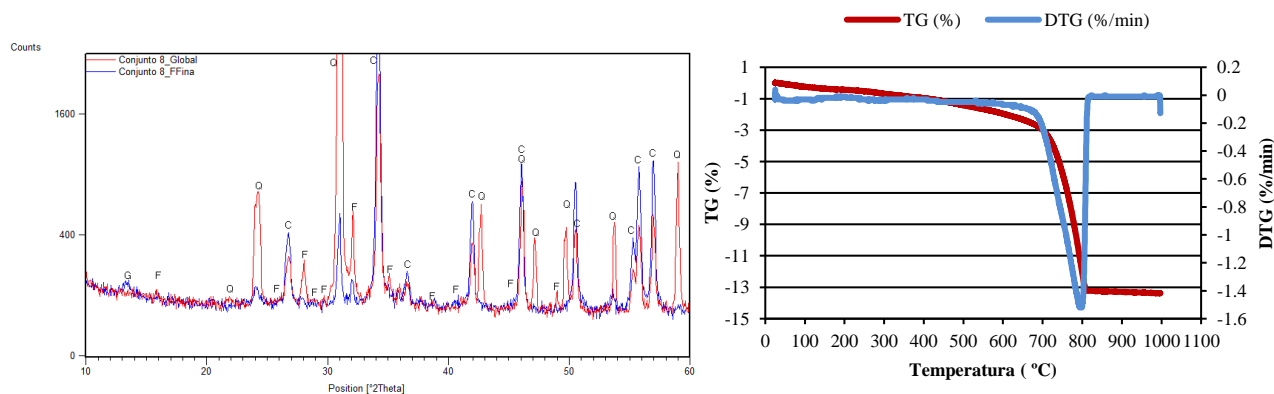
$\rho_b$ : 1773 kg/m<sup>3</sup>

P<sub>ab</sub>: 28%

### Absorção e secagem

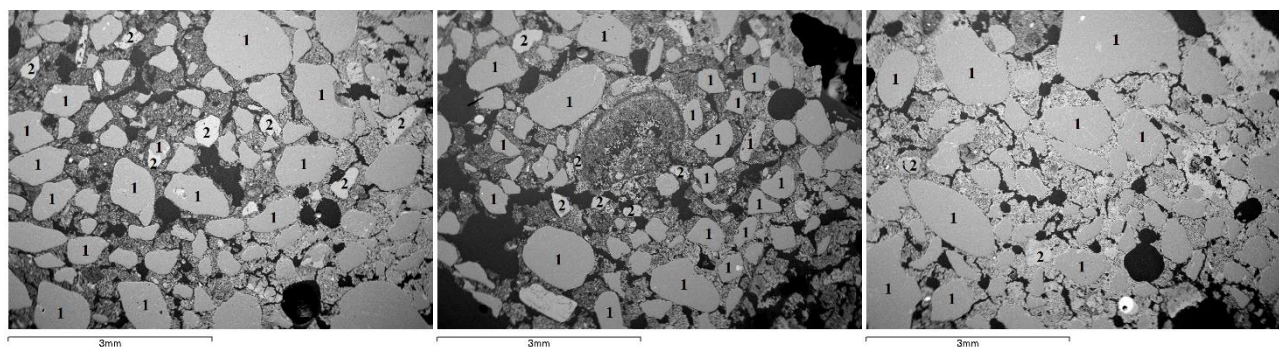


### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



Notação utilizada: G - Gesso; Q - Quartzo; C - Calcite; F - Feldspatos

### Observação microestrutural por MEV



Notação utilizada: 1 - Quartzo; 2 - Feldspatos; 3 - Grão de cal

### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,43	0,54	0,44	11,85	13,38	26,95	19,95	1:4	1:3

## Ficha de estudo 8

**Descrição:** Argamassas de assentamento removidas do tardo de azulejos de vários painéis de Coimbra, que foram transferidas do Museu Nacional Machado de Castro para o Museu Nacional do Azulejo.

**Tipo de Edifício:** Desconhecido

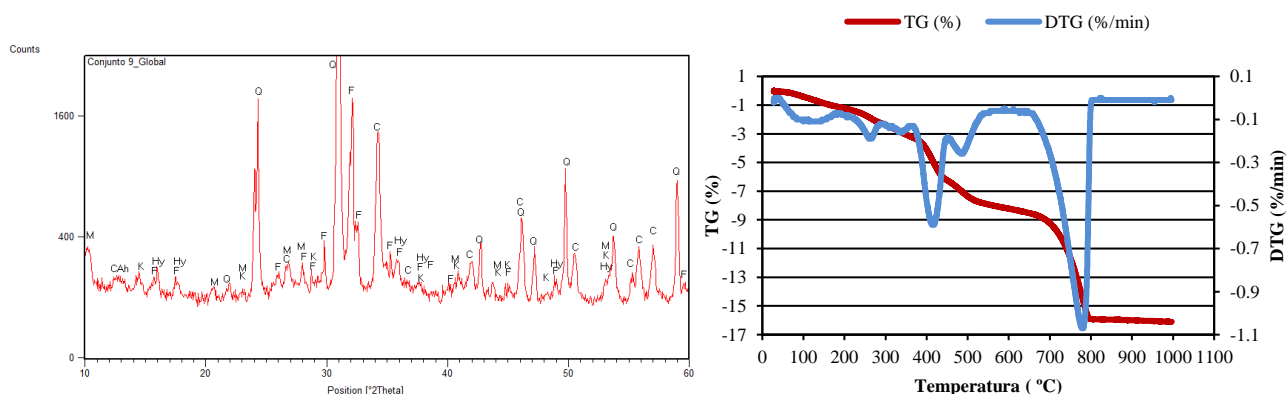
**Época:** XVIII

**Identificação das amostras:** MMC1, MMC2, MMC3, MMC4, MMC5, MMC6, MMC7, MMC8, MMC9, MMC10

**Compilação de resultados:**

- Amostra MMC1 - Painei "Monte Sião"**

Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



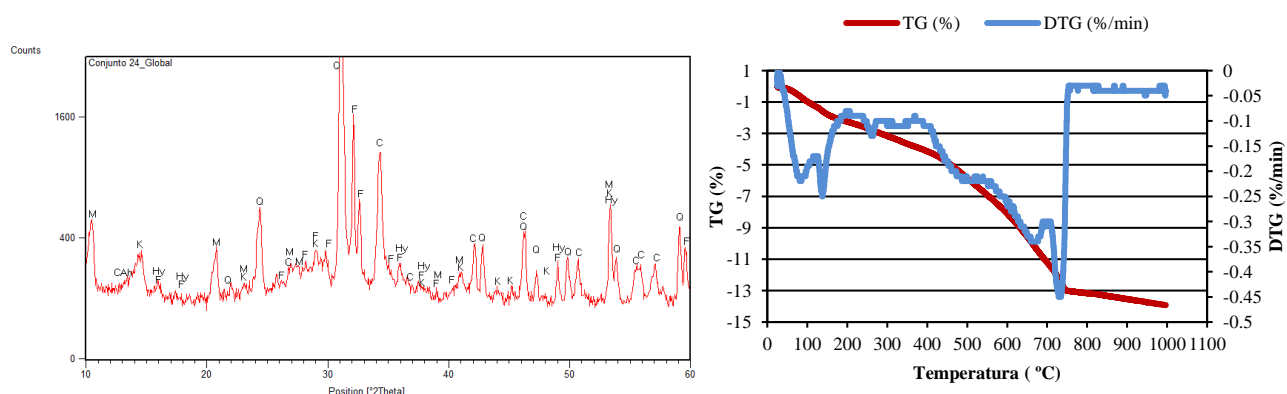
Notação utilizada: M – Mica; CAh – Aluminato de cálcio hidratado; K – Caulinite; Hy – Hidromagnesite; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-190	190-360	360-450	450-540	540-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
1,16	2,03	3,05	1,62	8,10	16,11	10,54	5,84	18,42	13,64	5,36	1:4

- Amostra MMC2 - Painei cod. A**

Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



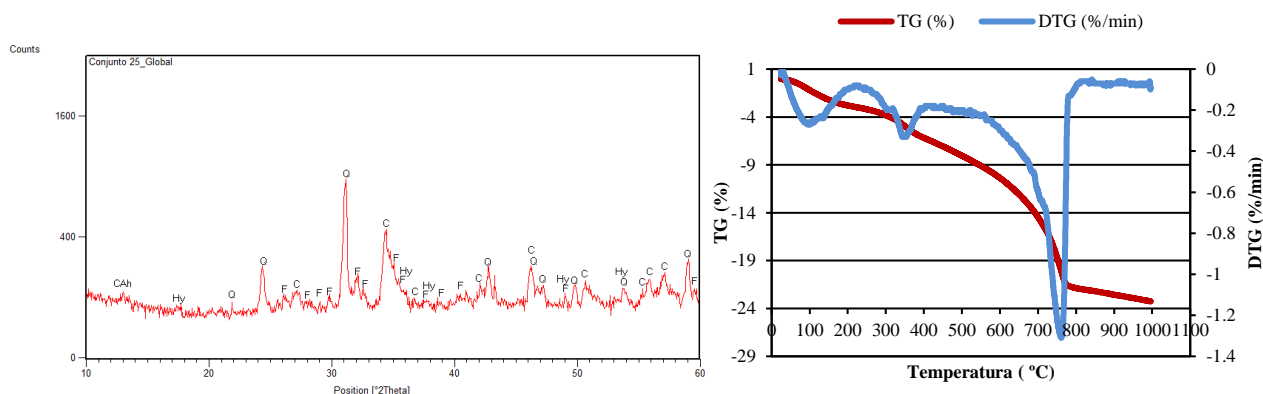
Notação utilizada: M – Mica; CAh – Aluminato de cálcio hidratado; K – Caulinite; Hy – Hidromagnesite; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-380	380-450	450-540	540-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
2,25	1,68	0,91	1,86	6,64	13,93	8,72	1,74	15,10	11,18	2,29	1:6

### • Amostra MMC3 - Painel 4 paisagem

#### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



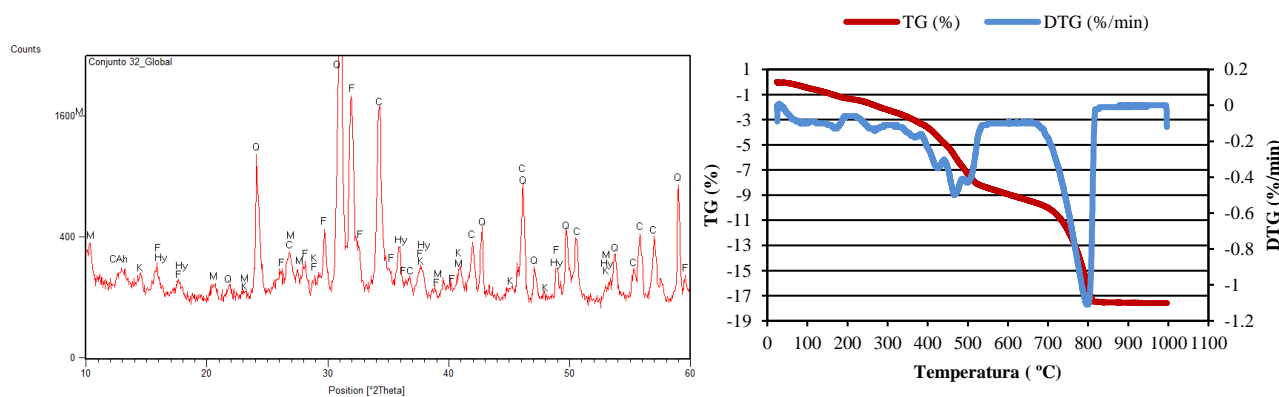
Notação utilizada: CAh – Aluminato de cálcio hidratado; Hy – Hidromagnesite; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

#### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-220	220-400	400-550	550-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
2,96	3,22	2,92	13,10	23,27	16,72	5,59	29,79	22,06	5,95	1:3

### • Amostra MMC4 - Painel "Apocalipse"

#### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



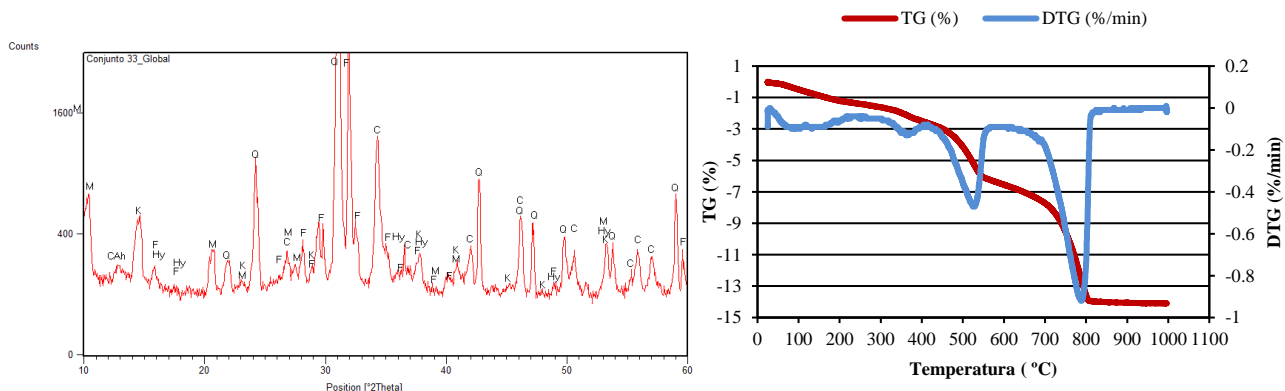
Notação utilizada: M – Mica; CAh – Aluminato de cálcio hidratado; K – Caulinite; Hy – Hidromagnesite; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

#### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-205	205-380	380-490	490-540	540-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
1,33	1,93	3,63	1,43	9,21	17,59	10,02	6,95	20,95	15,51	6,06	1:3

### • Amostra MMC5 - Painei "Apocalypse"

#### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



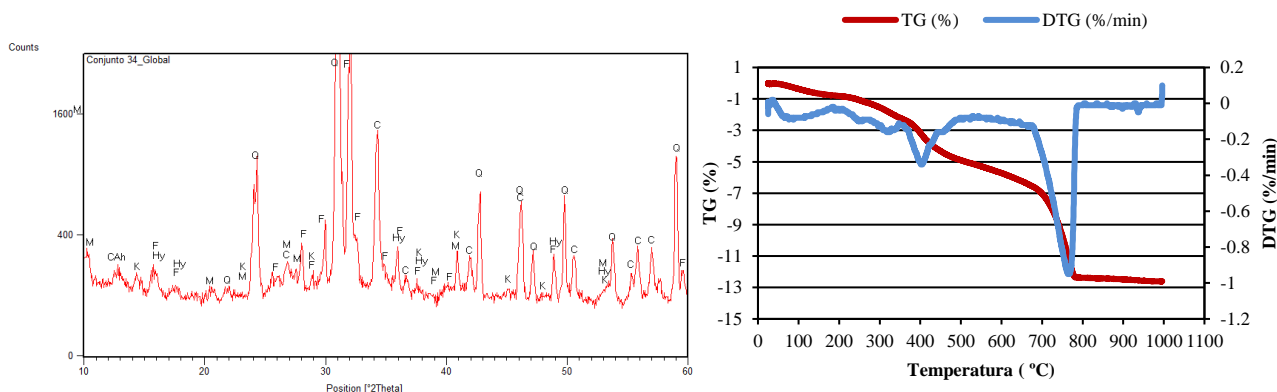
Notação utilizada: M – Mica; CAh – Aluminato de cálcio hidratado; K – Caulinite; Hy – Hidromagnesite; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

#### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-410	410-580	580-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
1,21	1,38	3,78	7,65	14,09	7,16	7,24	17,40	12,88	5,90	1:4 -1:5

### • Amostra MMC6 - Painei "Apocalypse"

#### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



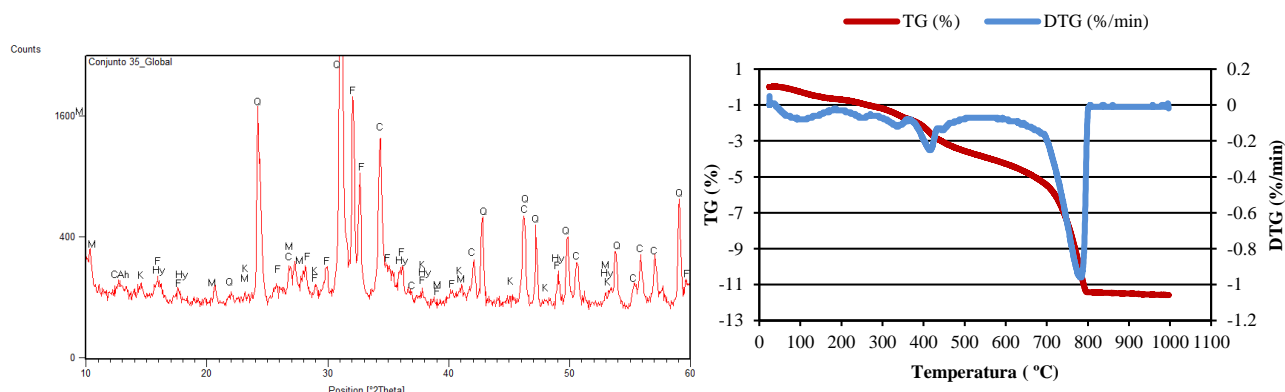
Notação utilizada: M – Mica; CAh – Aluminato de cálcio hidratado; K – Caulinite; Hy – Hidromagnesite; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

#### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-360	360-450	450-540	540-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
0,81	1,51	2,00	0,90	7,21	12,61	7,84	3,83	16,40	12,14	3,63	1:5

### • Amostra MMC7 - Painei "Apocalypse"

#### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



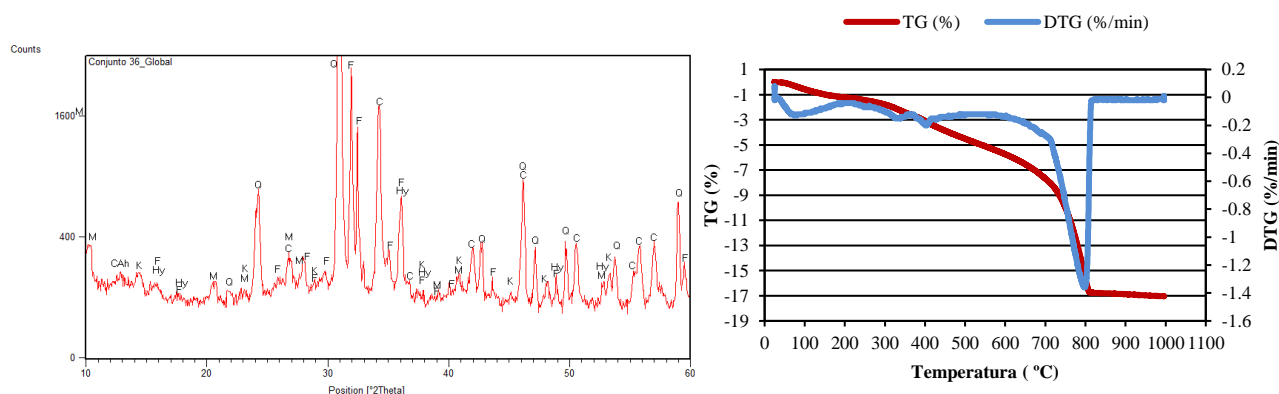
Notação utilizada: M – Mica; CAh – Aluminato de cálcio hidratado; K – Caulinite; Hy – Hidromagnesite; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

#### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-360	360-440	440-540	540-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
0,71	1,05	1,20	0,89	7,61	11,58	5,45	2,30	17,31	12,81	2,27	1:6

### • Amostra MMC8 - Painei "Apocalypse"

#### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



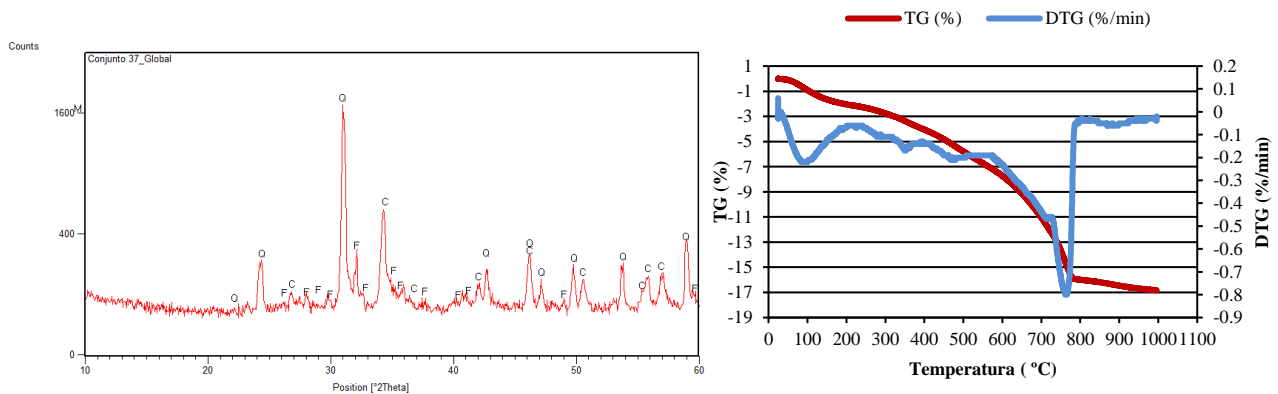
Notação utilizada: M – Mica; CAh – Aluminato de cálcio hidratado; K – Caulinite; Hy – Hidromagnesite; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

#### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-360	360-430	430-540	540-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
1,22	1,31	1,05	1,41	11,81	17,03	6,80	2,01	26,86	19,88	2,24	1:4

- Amostra MMC9 - Painei cod.3**

### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica

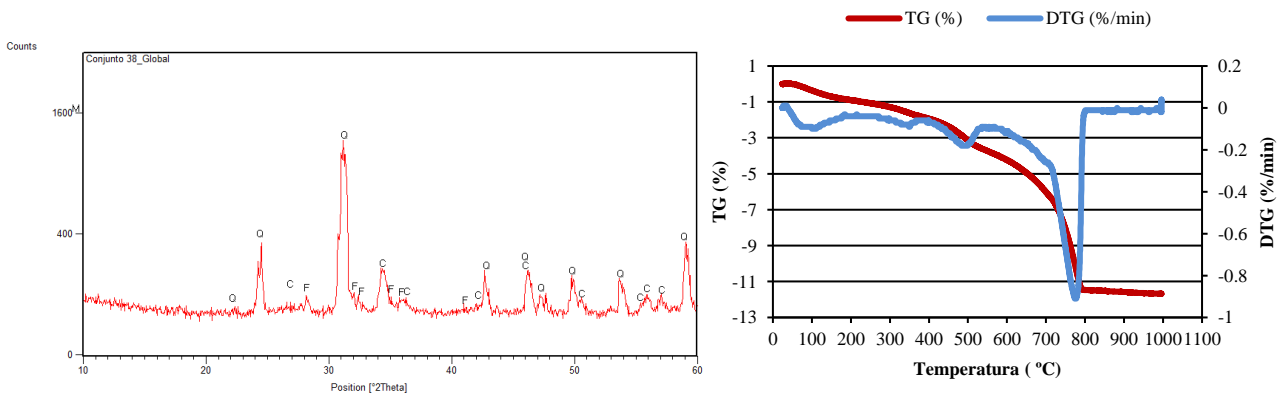


#### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-205	205-380	380-540	540-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
2,07	1,72	2,76	9,64	16,84	8,93	5,29	21,92	16,23	4,77	1:4

- Amostra MMC10 - Painei 3**

### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



#### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-205	205-380	380-540	540-850	PR	Hy.	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
0,92	0,90	1,82	7,89	11,68	4,67	3,49	17,94	13,28	2,99	1:5



## Ficha de estudo 9

**Descrição:** Argamassas de assentamento removidas do tardo de azulejos pertencentes ao antigo quartel do Regimento dos Lanceiros Nº2 (Calçada da Ajuda), da sala do comandante.

**Localização:** Lisboa

**Tipo de Edifício:** Palacete

**Época:** XVIII-XIX

**Identificação das amostras:** RL1, RL2

**Contexto histórico:** O espaço foi construído no século XVIII, mas só em Fevereiro de 1833 viria a ser constituído Regimento de Lanceiros da Rainha, por D. Pedro, durante as Guerras Liberais. Contava inicialmente apenas com militares estrangeiros de certa forma contratados, alguns até mercenários, para proteger a rainha. Esses militares estariam sob o comando do coronel Bacon, contratado pelos liberais. Por essa altura existia já, na mesma Calçada (conhecida em tempos como Rua dos Quartéis) o quartel Conde de Lippe (pertencente à GNR nos dias de hoje) e uma unidade de artilharia e depois de cavalaria, onde atualmente está o Corpo de Intervenção da PSP. De 1844 em diante, recebe a denominação de Regimento de Cavalaria N.º 2 de Lanceiros da Rainha, já sob a direção de um oficial português. Foi sempre um regimento muito ligado à zona onde se inseria e que participou em acontecimentos marcantes da história portuguesa, nomeadamente na revolta dos marechais onde defendeu o marechal Saldanha ou em 1910 quando esteve na rua do lado da monarquia. No século XX ali se formaram também companhias da Polícia Militar (W29).

O Museu Nacional do Azulejo foi contactado a recolher e restaurar os azulejos da sala do comandante para a transição, a 1 de Julho de 2015, desse Regimento para as instalações do antigo Regimento de Comandos na Rua Gonçalves Ramos, na Amadora. Mais tarde, por constituírem uma imagem de marca desse Regimento foram reaplicados no novo quartel por especialistas do Museu do Azulejo com o auxílio e contribuição dos membros do exército sob a sua orientação.

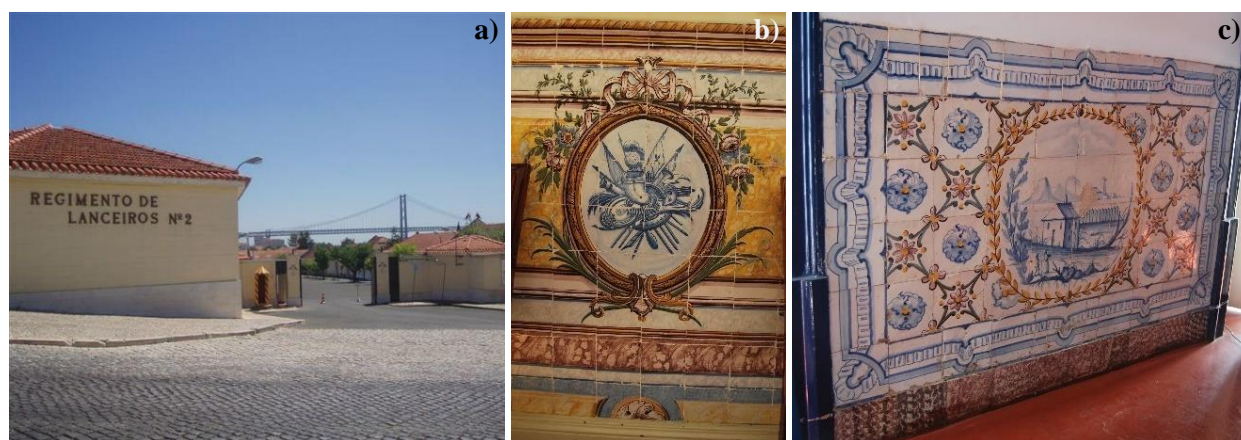


Figura A 15 - Antigo Regimento dos Lanceiros Nº2 (a) (W30) e azulejos da sala do comandante antes da remoção (b)



Figura A 16 - Levantamento dos azulejos da sala do comandante (a) e amostragem RL1 (b e c)

## Compilação de resultados:

### • Amostra RL1

Valores médios

Ccc: 1,11 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)

TS1: 0,0013 kg/(m<sup>2</sup>.min)

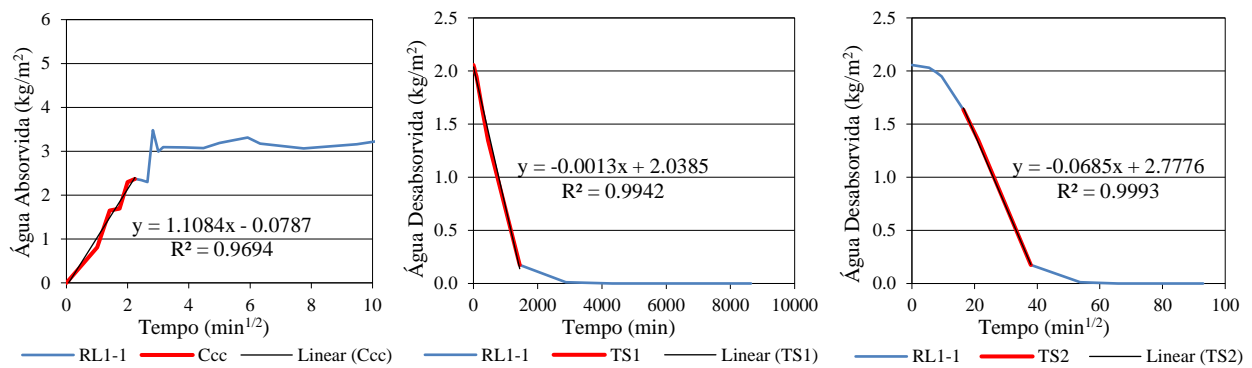
TS2: 0,0685 kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>)

$\rho_b$ : 1642 kg/m<sup>3</sup>

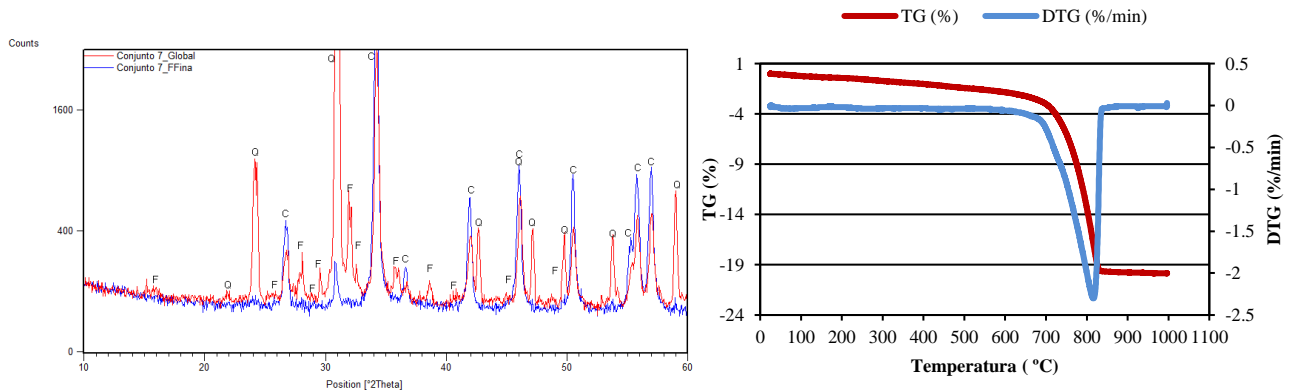
P<sub>ab</sub>: 23,5%

Rc: 2,68 N/mm<sup>2</sup>

### Absorção e secagem



### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



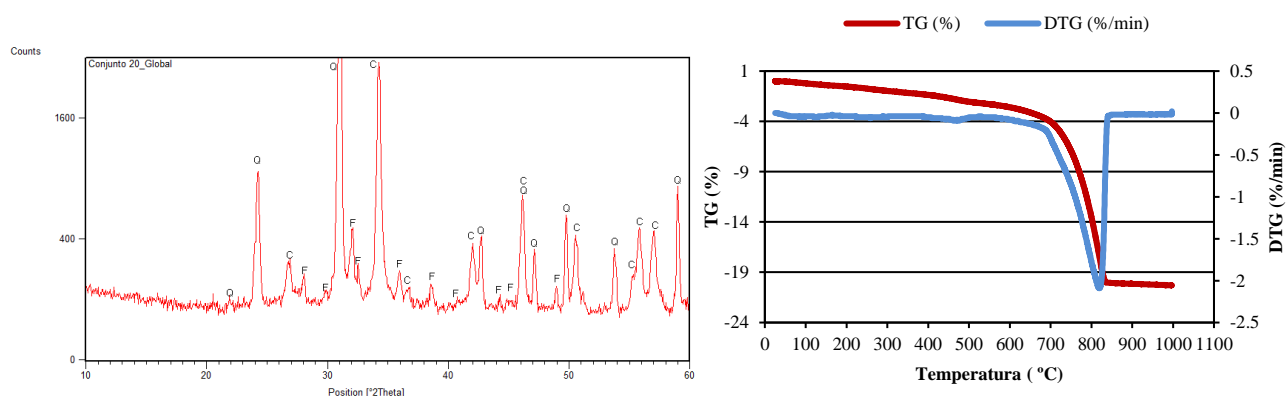
Notação utilizada: Q – Quartz; C – Calcite; F – Feldspatos

### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,43	0,60	0,40	18,26	19,86	41,53	30,74	1:2	1:2

- Amostra RL2**

### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



Notação utilizada: Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,54	0,83	0,68	18,01	20,30	40,96	30,32	1:2	1:2



**Ficha de estudo 10**

**Descrição:** Argamassa de assentamento de azulejo removida de placa relevada com o ano de “1842”, proveniente do átrio de entrada do edifício que fora residência e local de trabalho do escultor e estatuário Joaquim Machado de Castro.

**Localização:** Lisboa

**Tipo de Edifício:** Residencial

**Época:** XIX

**Identificação das amostras:** FR



Figura A 17 - Fachada principal do edifício na Rua dos Caminhos de Ferro na altura da intervenção (a) e atualmente (b)

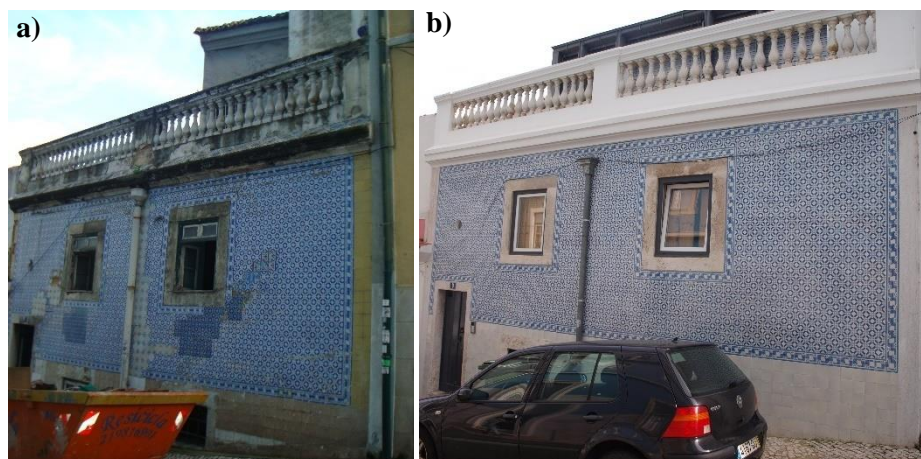


Figura A 18 - Fachada de tardoz do edifício na Calçada do Cardeal na altura da intervenção (a) e atualmente (b)

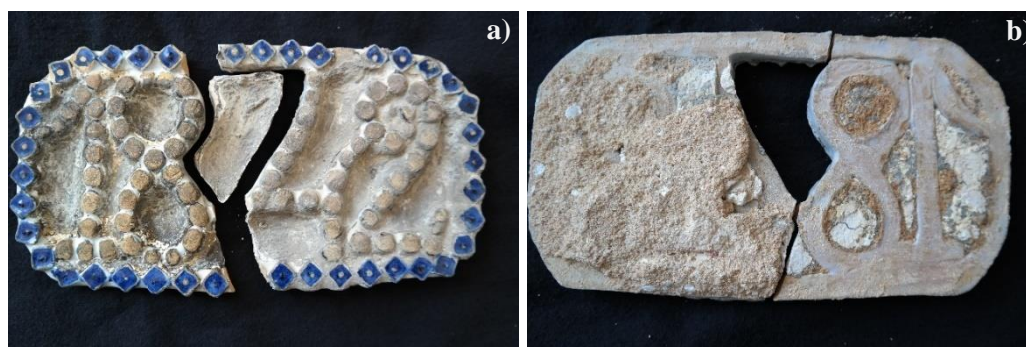
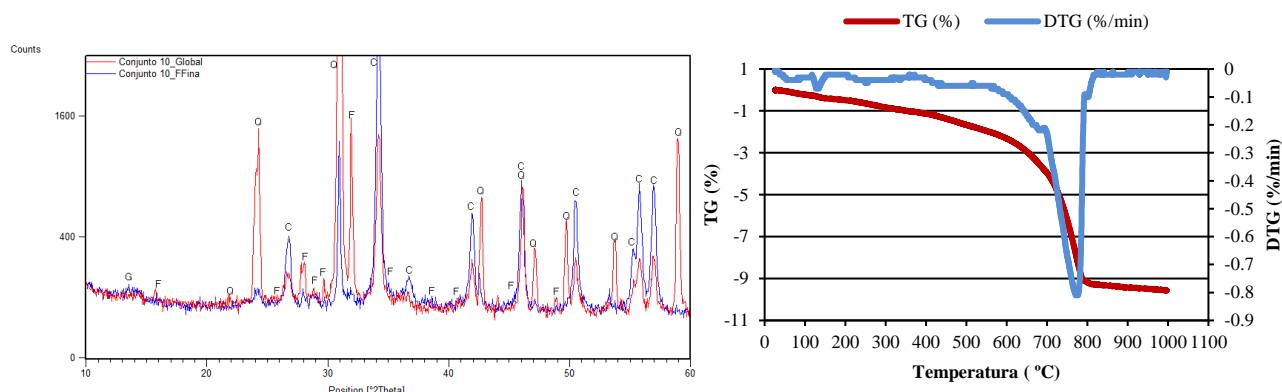


Figura A 19 - Placa relevada com ano, origem da amostra FR (visível no tardoz da placa)

## Compilação de resultados:

### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



Notação utilizada: G - Gesso; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-400	400-500	500-850	PR	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG	Traço corrig. AQ
0,49	0,64	0,54	7,67	9,56	17,44	12,91	1:7	1:6

## Ficha de estudo 11

**Descrição:** Argamassas de assentamento removidas do tardo de azulejos de vários painéis de Coimbra, que se encontravam em inventário no Museu Nacional Machado de Castro e que foram depositados no Museu do Nacional do Azulejo.

**Localização:** Coimbra

**Tipo de Edifício:** Desconhecido

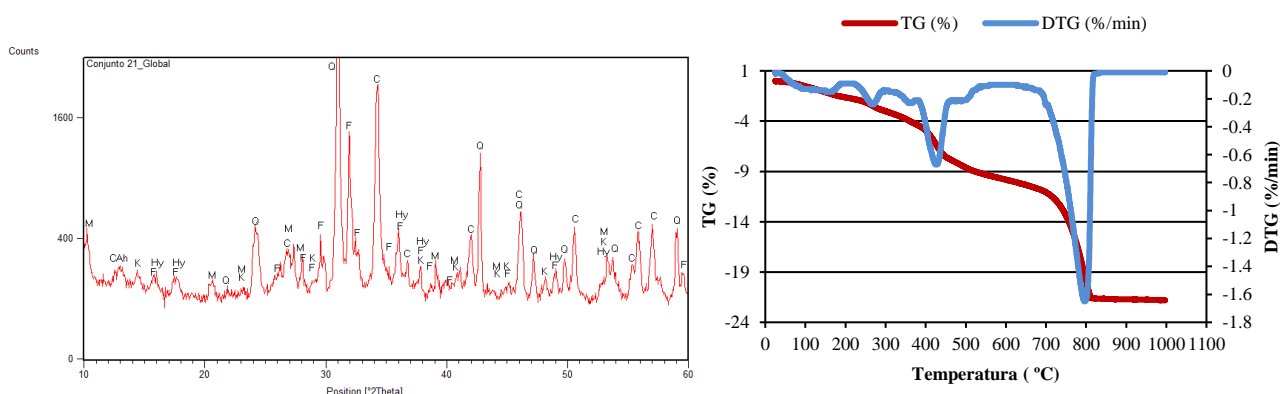
**Época:** Desconhecida

**Identificação das amostras:** MMC11, MMC12, MMC13, MMC14, MMC15, MMC16, MMC17, MMC18, MMC19, MMC20, MMC21

**Compilação de resultados:**

- Amostra: MMC11 - Painele "Triunfo da Religião"**

Difração de Raios X



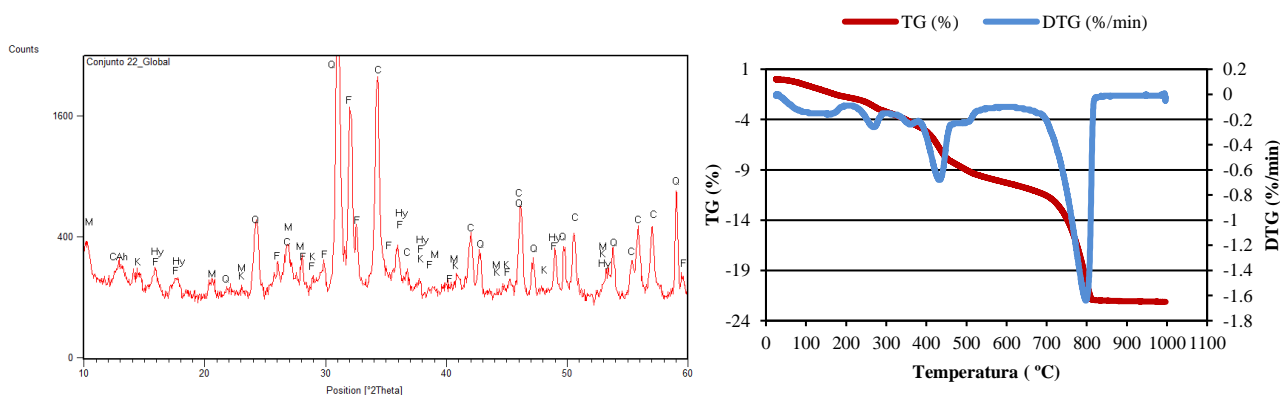
Notação utilizada: M – Mica; CAh – Aluminato de cálcio hidratado; K – Caulinite; Hy – Hidromagnesite; Q – Quartz; C – Calcite; F – Feldspatos

Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-205	205-370	370-470	470-540	540-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
1,68	2,53	3,78	1,22	12,47	21,80	13,13	7,24	28,36	20,99	6,65	1:3

- Amostra MMC12 - Painele "Triunfo da Religião"**

Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



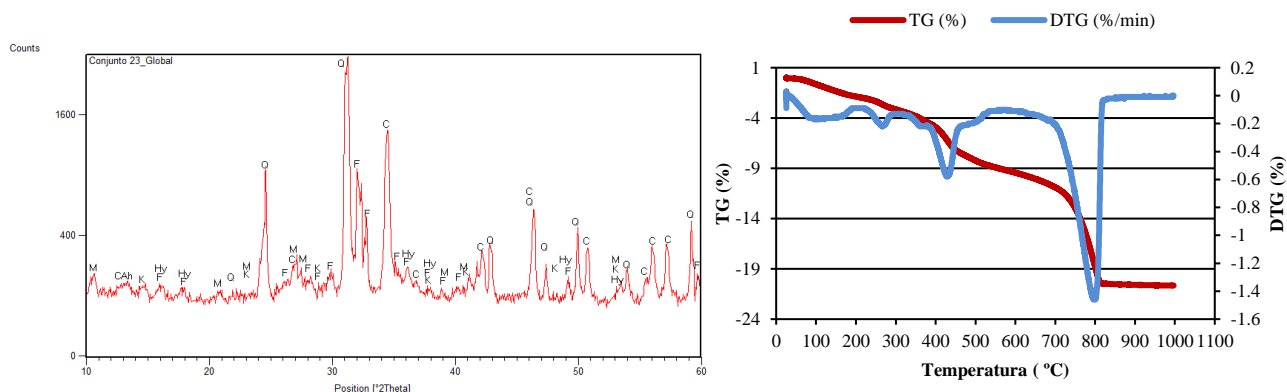
Notação utilizada: M – Mica; CAh – Aluminato de cálcio hidratado; K – Caulinite; Hy – Hidromagnesite; Q – Quartz; C – Calcite; F – Feldspatos

## Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-370	370-470	470-540	540-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
1,76	2,72	3,88	1,30	12,35	22,13	14,12	7,43	28,09	20,79	6,90	1:3

- Amostra MMC13 - Painei "Triunfo da Religião"**

## Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



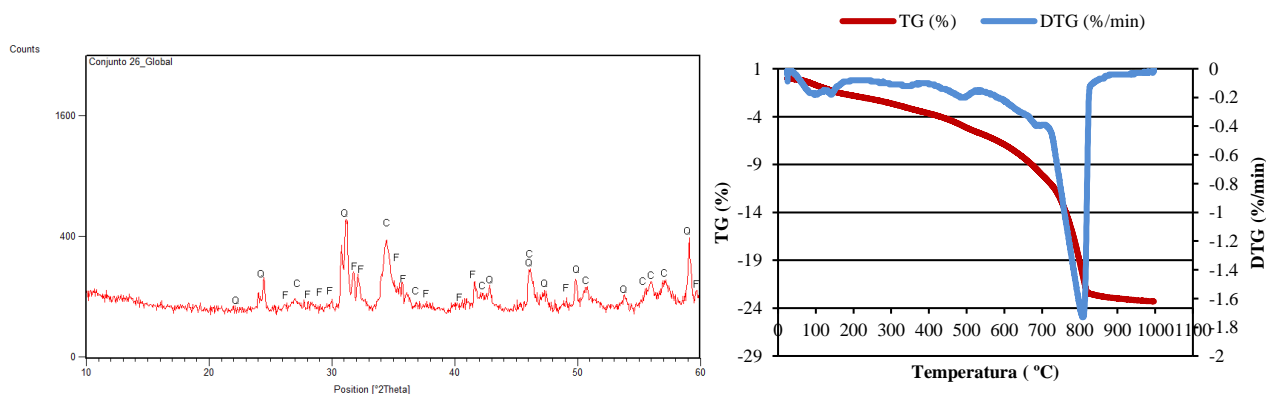
Notação utilizada: M – Mica; CAh – Aluminato de cálcio hidratado; K – Caulinite; Hy – Hidromagnesite; Q – Quartz; C – Calcite; F – Feldspatos

## Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-380	380-470	470-550	550-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
1,87	2,57	3,2	1,28	11,61	20,66	13,34	6,13	26,40	19,55	5,90	1:3

- Amostra MMC14 - Painei cod.F**

## Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



Notação utilizada: Q – Quartz; C – Calcite; F – Feldspatos

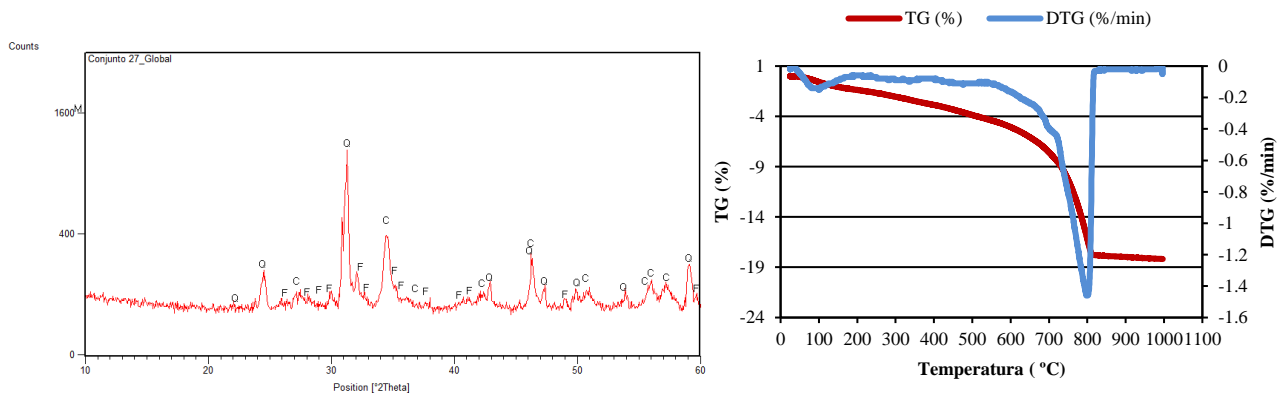
## Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-380	380-520	520-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
1,82	1,64	2,04	17,22	23,30	8,51	3,91	39,16	28,99	3,77	1:2



• **Amostra MMC15 - Painei cod.F**

Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica

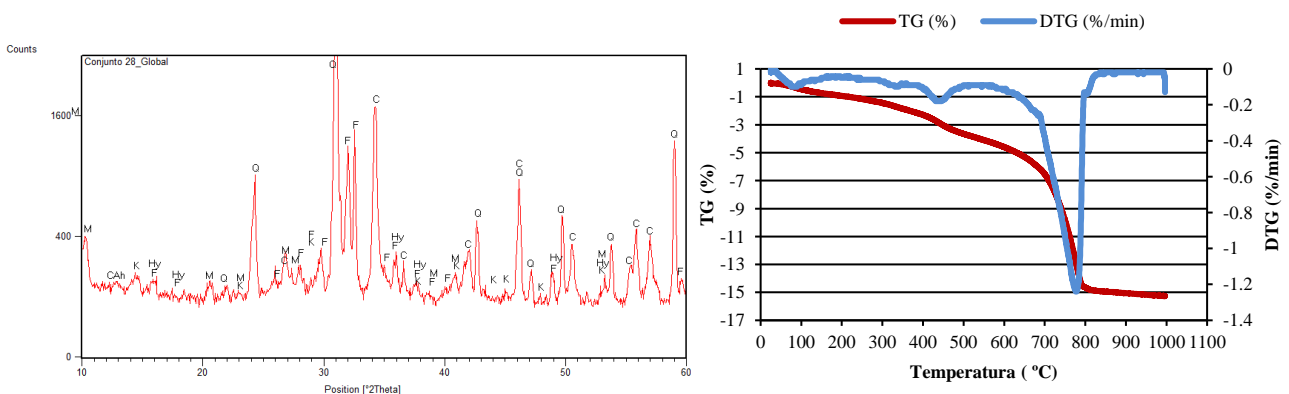


Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-380	380-520	520-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
1,37	1,34	1,37	13,8	18,18	6,96	2,62	31,38	23,23	2,68	1:3

• **Amostra MMC16 - Painei "O homem da gaita de folos"**

Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



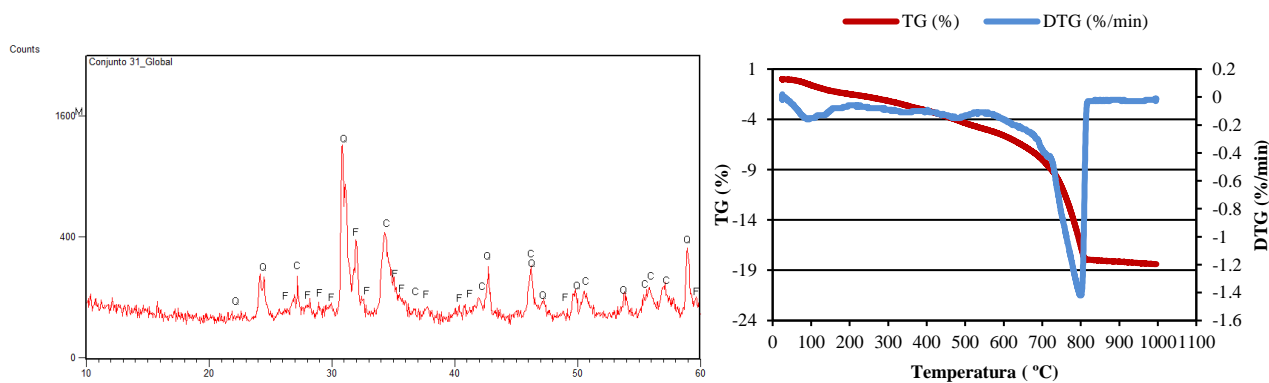
Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-380	380-520	520-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
0,94	1,16	1,73	11,12	15,27	6,02	3,31	25,29	18,72	3,04	1:4 – 1:5



- Amostra MMC19 - Painel cod.13**

### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



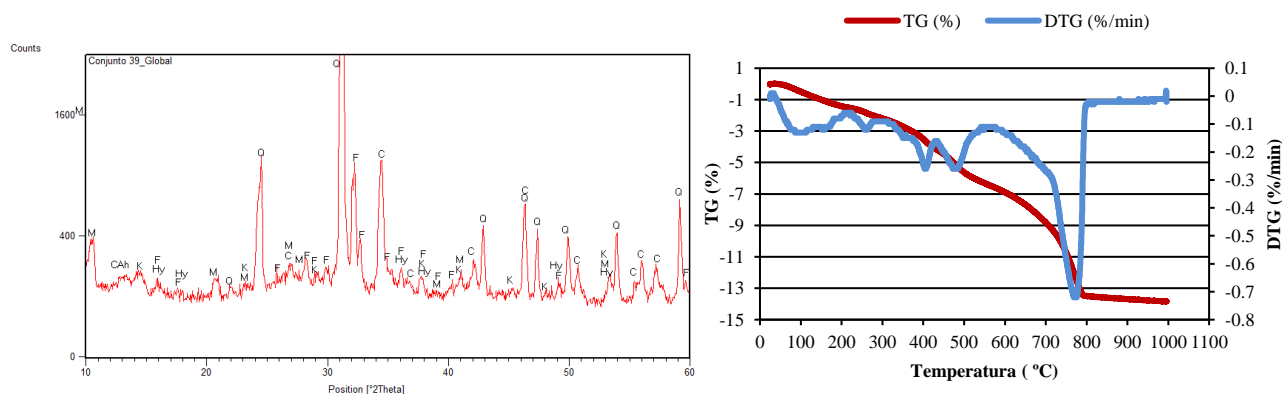
Notação utilizada: Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-205	205-380	380-540	540-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
1,52	1,42	1,91	13,18	18,39	7,37	3,66	29,97	22,19	3,45	1:3

- Amostra MMC20 - Painel Coimbra**

### Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



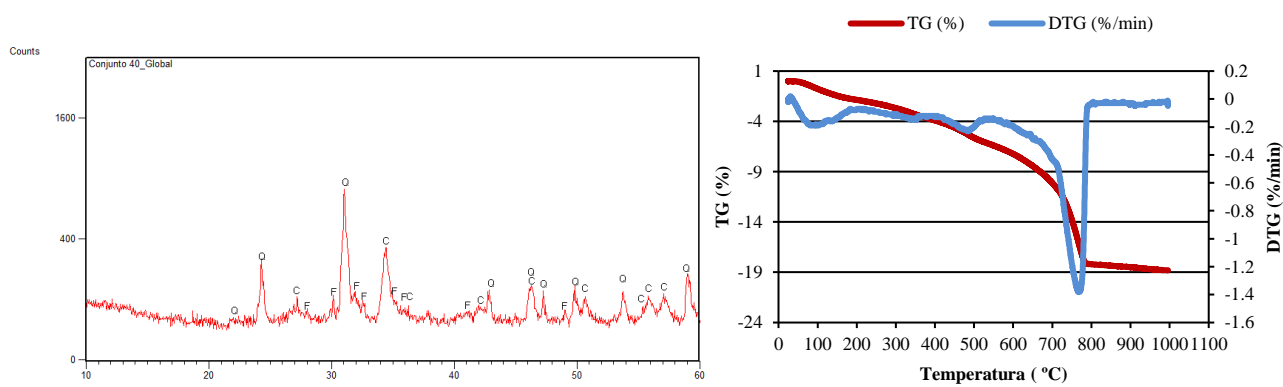
Notação utilizada: M – Mica; CAh – Aluminato de cálcio hidratado; K – Caulinite; Hy – Hidromagnesite; Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

### Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-210	210-370	370-430	430-550	550-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
1,48	1,51	1,14	2,18	7,29	13,83	7,84	2,18	16,58	12,27	2,49	1:6

• **Amostra MMC21 - Painei "Simbologia Mariana"**

Difração de Raios X e Análise Termogravimétrica



Notação utilizada: Q – Quartzo; C – Calcite; F – Feldspatos

Perdas de massa, teor de ligante e traço ponderal

Tamb-200	200-380	380-540	540-850	PR	Hy	Magnesite	Calcite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Traço ATG
1,87	1,81	2,58	12,09	18,82	9,40	4,94	42,80	31,69	4,59	1:2